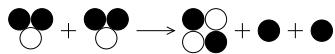


# De Zon

N.G. Schultheiss

## 1 Inleiding

Deze module is direct vanaf de derde of vierde klas te volgen en wordt vervolgd met de module “De Broglie” of de module “Zonnewind”.



Figuur 1.1: Een schema voor kernfusie

In figuur 1.1 zien we een schematische voorstelling voor kernfusie. De zwarte bolletjes stellen protonen voor en de witte bolletjes stellen neutronen voor. Een deel van de kernreacties herverdelen de protonen en neutronen over de kernen. Relatief kleine kernen zijn goed te tekenen. Helaas zijn er ook veel grotere kernen. Van nature treedt kernfusie globaal op van waterstof tot aan het element ijzer<sup>1</sup>. Het element ijzer bevat altijd 26 protonen, het atoomnummer  $Z$  van ijzer is daarom 26. Verder bevat ijzer 54 tot 60 kerndeeltjes, het massagetal  $A$  van ijzer ligt dus tussen 54 en 60. IJzer heeft dus  $54 - 26 = 28$  tot  $60 - 26 = 34$  neutronen. Het is dus niet handig om een kernreactie met ijzer op de manier van figuur 1 te tekenen.

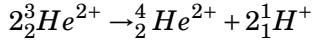
Scheikundig zijn dit allemaal ijzer-atomen. Toch heeft ieder ijzeratoom eigenschappen, zoals radioactiviteit, die bij de massa van het atoom horen. IJzer wordt daarom verdeeld in Fe-54, Fe-55, Fe-56, Fe-57, Fe-58, Fe-59 en Fe-60 isotopen. Sommige isotopen zijn radioactief, andere zijn niet radioactief of stabiel. Het aantal protonen bepaalt welk scheikundig element het atoom is, dit wordt ook wel het atoomnummer  $Z$  genoemd. Het aantal kerndeeltjes bepaalt het isotoop, dit wordt ook wel het massagetal  $A$  genoemd. Een isotoop is nu als volgt te noteren:

$${}^A_Z \text{Symbol}$$

In figuur 1.1 zien we drie soorten isotopen. Isotopen met 3 kerndeeltjes (2 protonen en 1 neutron), 4 kerndeeltjes (2 protonen en 2 neutronen) en losse protonen. Atomen met 2 protonen maken deel uit van de He-familie (helium). Atomen met 1 proton maken deel uit van de H-familie (waterstof). Deze figuur is dus als volgt te noteren:

---

<sup>1</sup>Het kost extra moeite om grotere atomen te maken omdat de protonen elkaar afstoten. Grote atomen hebben eerder de neiging om te splitsen als dan om samen te smelten.



Twee helium-3 isotopen botsen, er ontstaat een nieuw helium-4 isotoop doordat een helium-3 isotoop een neutron overdraagt. De twee overgebleven protonen vliegen uit elkaar en er ontstaan twee waterstof-1 isotopen.

## 2 Zonne-energie

De Zon is net als andere sterren een hemellichaam dat het grootste deel van de uitgestraalde energie uit kernfusie haalt. De meeste energie wordt op de zon vrijgemaakt door waterstofkernen (protonen) in een aantal stappen om te zetten in Heliumkernen.

Dit gaat op de volgende manier:



In de eerste vergelijking van 2.3 is niets bijzonders aan de hand, de protonen en neutronen worden anders in de kernen gerangschikt. Dit rangschikken van protonen en neutronen gebeurt ook in vergelijking 2.2. Omdat er maar 1 deeltje ontstaat, komt de energie echter vrij in een flits, een  $\gamma$ -foton (gamma foton). Op fotonen komen we nog terug.

Bij vergelijking 2.1 en de tweede vergelijking van 2.3 is er ook iets aan de hand, hier wordt een proton omgezet in een neutron. Omdat de lading voor en na de reactie hetzelfde te houden onstaat er een nieuw deeltje, een positief electron of een positron. Het blijkt dat er naast de lading nog een eigenschap van deeltjes behouden moet blijven, de spin. Omdat protonen, neutronen en electronen een spin van  $+\frac{1}{2}$  of  $-\frac{1}{2}$  hebben, is er nog een extra deeltje met spin  $+\frac{1}{2}$  of  $-\frac{1}{2}$  nodig. Dit is een neutraal electron of neutrino ( $\nu$ ).

Neutrino's vliegen overal bijna ongehinderd doorheen. Ze gaan bijvoorbeeld bijna allemaal dwars door de Aarde. Heel af en toe botst er een neutrino op deeltje en gebeurd er iets.

Positronen hebben veel meer moeite om ergens doorheen te vliegen. De lading van de positronen zorgt dat ze veel eerder worden aangetrokken door negatieve ladingen, zoals electronen. Als een electron en een positron botsen, vindt de volgende reactie plaats:



Beide deeltjes verdwijnen en er ontstaan twee  $\gamma$ -fotonen. Als een materie en een antimateriedeeltje precies recht op elkaar botsen, verdwijnen ze. Omdat het electron en het positron beide verdwijnen, kunnen we zeggen dat een positron een antimateriedeeltje van een electron is. Als er maar één foton ontstaat kan dit zich nergens tegen afzetten. Er moeten dus twee fotonen ontstaan die zich tegen elkaar afzetten, zodat beide fotonen de lichtsnelheid kunnen krijgen.

Een  $\gamma$ -foton is eigenlijk een soort lichtflitsje met heel veel energie. Het is geen materie en ook geen antimaterie, het foton hoort bij de familie van de electromagnetische straling. Omdat electromagnetische straling geen (rust-)massa heeft, moeten we een andere eigenschap gebruiken om soorten electromagnetische straling te onderscheiden. Iedere soort electromagnetische straling heeft een eigen golflengte. Van een grote naar een kleine golflengte vinden we achtereenvolgens: Radiogolven, Mobiele telefonie, Radar, Infrarode straling, Zichtbaar licht (Rood, Oranje, Geel, Groen, Blauw, Violet), Ultraviolet, Röntgen en Gamma-straling.

**Opdracht 1:** Zoek de golflengten van Radiogolven, Mobiele telefonie, Radar, Infrarode straling, Zichtbaar licht (Rood, Oranje, Geel, Groen, Blauw, Violet), Ultraviolet, Röntgen en Gamma-straling op.

Alle electromagnetische golven bewegen in vacuum met de lichtsnelheid  $c = 299792458[\text{m/s}]$ , bij benadering is dit  $300.000[\text{km/s}]$ .

**Opdracht 2:** Bereken de frequentie van de verschillende soorten electromagnetische golven.

Het blijkt dat de frequentie recht evenredig is met de energie van de fotonen.

**Opdracht 3:** Beargumenteer waarom UV-stralen voor mensen wel gevaarlijk zijn en zichtbaar licht niet. Waarom mag je niet teveel Röntgen foto's maken?

### 3 Zonnestralen

De zon produceert zonnestralen. Zoals in hoofdstuk 2 te zien is, worden  $\gamma$ -stralen door kernfusie geproduceerd. Gelukkig is dit maar een klein deel van de zonnestraling. De meeste zonnestraling is te zien als zichtbaar licht.

Men probeert op Aarde ook kernfusie-reactors te maken. Zoals uit opdracht 4 blijkt, is het echter niet eenvoudig omdat er voor een kernfusie reactie een grote druk en een grote temperatuur nodig zijn. Beide zijn in de Zon aanwezig. De zwaartekracht bij de Zon is groot, dit komt omdat bijna alle massa van het zonnestelsel in de zon zit. De druk in de Zon wordt dus ook erg groot. Alles is ooit in de zon gevallen, de energie die bij dit vallen vrij kwam, werd omgezet in bewegingsenergie van de atoomkernen. De temperatuur werd daardoor ook erg hoog. Door de hoge druk en de hoge temperatuur start kernfusie. Als deze gestart is, kan de zon deze kernenergie gebruiken om warm te blijven.

**Opdracht 4:** Beredeneer waar de kernfusie in de zon plaats vindt.

Het zichtbaar oppervlak van de zon, de fotosfeer heeft een temperatuur die, als we in de zon af zouden dalen, van 4500K naar 6500K oploopt. De zon is hier weliswaar gloeiend heet, de temperatuur is echter veel te laag voor kernfusie. Het gloeien van het gas in de fotosfeer zien wij als zonlicht.

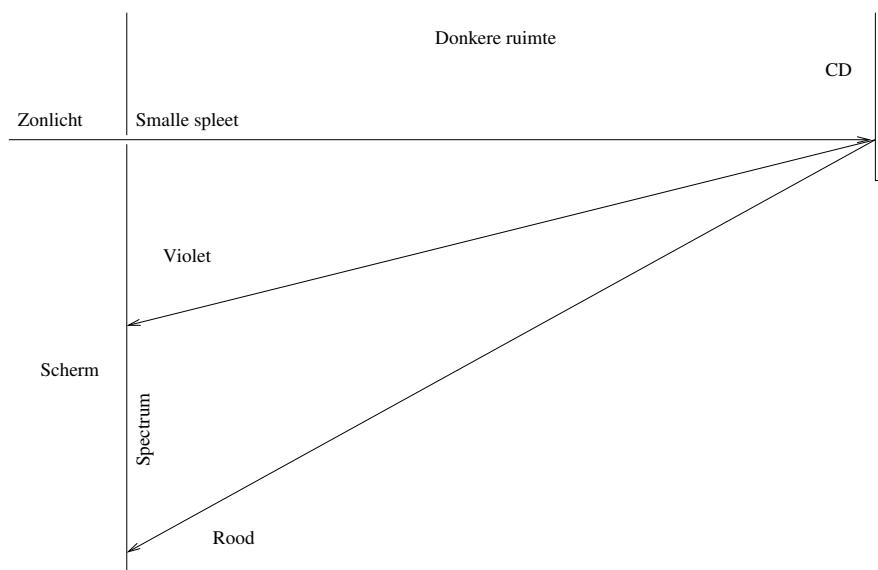
**Opdracht 5:** Volgens Charles Darwin overleeft de meest passende soort door natuurlijke selectie. Beredeneer met het model van Darwin hoe het komt dat de zon hoofdzakelijk zichtbaar licht uitstraalt.

**Opdracht 6:** Beredeneer waarom de zon relatief weinig  $\gamma$ -straling uitzendt.

## 4 Fotosfeer en Chromosfeer

Zoals hiervoor te lezen is, is de fotosfeer het lichte deel dat we normaal als de zon zien. Omdat de fotosfeer witheet is, geeft de zon ook "wit" licht af. Dit is te vergelijken met een spijker die je in een vlam houdt, eerst wordt deze roodgloeiend. Als de vlam heet genoeg is, wordt de spijker na een tijdje witheet. In wit licht zitten alle kleuren: rood, oranje, geel, groen, blauw, violet. Het licht van de fotosfeer bevat dan ook alle kleuren.

Rond de fotosfeer is de chromosfeer. Het licht dat naar de aarde gaat moet dus eerst door de chromosfeer. Deze is veel ijler dan de fotosfeer. De fotosfeer is overigens al veel ijler dan de atmosfeer van de aarde.



Figuur 4.1: Een opstelling om het licht van de zon te bekijken

In chromosfeer wordt een deel van de kleuren van het licht geabsorbeerd. Als je de kleuren van de fotosfeer van de zon met een prisma of CD onderzoekt, krijg je een spectrum. Sommige kleuren zijn bijna niet te zien, deze worden geabsorbeerd in de chromosfeer.

**Opdracht 7:** Met wat knutselen kun je de opstelling in figuur 2 zelf maken. Het licht valt valt op het gegroefde deel van de CD. Het is een hele kunst om een scherp spectrum te maken. Het eerste wat opvalt

*is namelijk dat zonlicht niet echt evenwijdig is. Als je de CD een meter van de spleet in het scherm houdt, zie je dat het verlichte deel op de CD breder is dan de spleet. Hiervoor is de corrigeren door een leesbril met sterkte +1(dioptrieën) direct voor de CD te houden. Achter op het scherm zie je met wat geluk een spectrum met zwarte lijnen.*

Het blijkt dat de chromosfeer zelf ook licht uitstraald. Dit is echter veel minder dan het licht van de fotosfeer. Dit is te zien bij een zonsverduistering. Nu kijken we als het ware in de zijkant van de chromosfeer. Het licht dat eerst werd geabsorbeerd, is nu als geëmitemd (uitgezonden) licht te zien. De “donkere” strepen in het spectrum van de fotosfeer zijn dus als “gekleurde” strepen in de chromosfeer te zien.

**Opdracht 8:** *Met wat knutselen is een “zonsverduistering” misschien wel met lenzen na te maken. Als we de zon groot genoeg afbeelden kunnen we het licht van de fotosfeer tegenhouden en kunnen we misschien de chromosfeer zien. In de praktijk is dit vrij ingewikkeld. Het ontwerpen en onderzoeken / bouwen van een chromosfeer kijker is een goed onderwerp voor een profielwerkstuk.*