Hydrodynamica (5): Magnetohydrodynamica

In de vorige artikelen in dit dossier over hydrodynamica hebben we het gehad over de eigenschappen en bewegingsvergelijkingen van vloeistoffen. We hebben gezien dat viscositeit een soort wrijving in de vloeistof veroorzaakt en dat turbulentie met dimensieanalyse te begrijpen is. In dit artikel zullen we de aard van de vloeistoffen die we bestuderen wat anders maken. We gaan namelijk geladen vloeistoffen bekijken!

Elektrisch geladen vloeistoffen komen erg veel voor. Het kunnen gassen of vloeistoffen zijn waarin de atomen geïoniseerd zijn – de vlam uit je gasfornuis is bijvoorbeeld zo'n geïoniseerd gas. Een ander voorbeeld zijn vloeistoffen die stroom geleiden, zoals kwik. Toch zijn dit niet de meest interessante geladen vloeistoffen. Die komen namelijk voor in astrofysische objecten zoals onze zon. Een prominent voorbeeld is de *fotosfeer* van onze zon. Deze fotosfeer, ook wel het "oppervlak" van de zon genoemd, bestaat uit een dikke laag geïoniseerd gas. De wetten die deze laag beschrijven zijn niet alleen de wetten van de hyrodynamica, maar ook de wetten van Maxwell, oftewel het elektromagnetisme. De combinatie van deze twee verzamelingen van natuurwetten staat bekend onder de noemer *magnetohydrodynamica*.

Afbeelding 1. Hannes Olof Gösta Alfvén (1908-1995).

Een foto van Alfvén uit 1942. Fotograaf onbekend.

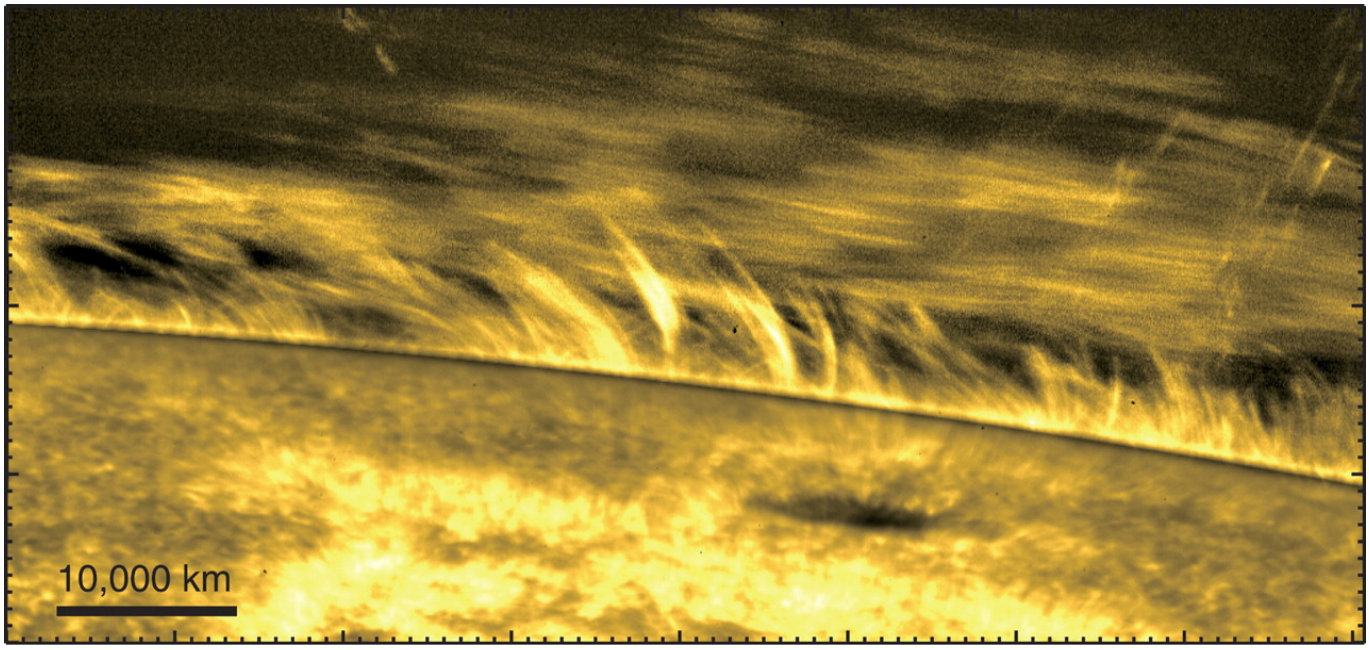
Magnetohydrodynamica is een vrij jong vakgebied dat in de jaren veertig van de vorige eeuw ontstond door het werk van Hannes Alfvén. Hij kreeg hiervoor in 1970 de Nobelprijs. De combinatie van de Navier-Stokesvergelijkingen (de vloeistofvergelijkingen) en de wetten van Maxwell wordt vaak numeriek opgelost, maar analytisch kunnen er ook mooie resultaten worden afgeleid. Een prachtig voorbeeld hiervan is het originele werk van Alfvén. Hij ontdenkte namelijk een nieuw soort golf die ontstaat wanneer de hydrodynamica en elektromagnetisme gecombineerd worden.

Golven bestaan zowel in de hydrodynamica als in het elektromagnetisme. In de hydrodynamica zijn deze golven te beschrijven als verdikkingen en verdunningen in de dichtheid van de vloeistof of het gas. De voortplantingsrichting is in de richting van de veranderende dichtheid. Golven in elektromagnetisme zijn echter zodanig dat de magnetische en electrische velden *loodrecht* op de voortplatingsrichting staan. Ga je een er

tussenin zitten, dus in het regime van de magnetohyrdodynamica, dan zijn er combinaties van deze golven. De golven waarbij de voortplantingsrichting parallel aan het magnetisch veld staan, worden naar hun ontdekker ook wel *Alfvéngolven* genoemd. De voortplantingssnelheid van deze golven kun je analytisch uitrekenen: die wordt gegeven door

$v = B/\sqrt{\mu\rho}$.

Hierin staat v voor de snelheid, B voor de grootte van het magnetisch veld, μ voor de magnetische permeabiliteit van het materiaal waarin de golven ontstaan en ρ voor de dichtheid van de vloeistof of het gas. Je ziet dat als de dichtheid ρ erg laag is, de snelheid v van een Alfvéngolf erg hoog kan worden.



Afbeelding 2. Een Alfvéngolf in de fotosfeer van de zon.Afbeelding: AAAS/NAOJ/JAXA/NASA/STFC/ESA.

Als we aannemen dat de vloeistof of het gas niet samendrukbaar is, dan blijkt dat Alfvengolven hun amplitude behouden – ze doven dus niet langzaam uit terwijl ze zich voortplanten. Dit komt doordat de tegenwerkende kracht magnetisch van aard is. De bewegende ionen of ladingen produceren zelf een magnetisch veld dat weer andere stroompjes induceert, en daarmee ook krachten, die uiteindelijk weer oscillaties in de vloeistof of het gas veroorzaken.

De combinatie van hydrodynamica en elektromagnetisme vormt dus een heel interessant

onderzoeksgebied. Tot op de dag van vandaag zijn vele onderzoekers bezig om geladen vloeistoffen of gassen te begrijpen door middel van de theorie ontwikkeld door Alfvén. Er zijn nog veel raadsels, niet alleen over de zon, maar bijvoorbeeld ook over de materie rond een zwart gat, die hopelijk in de toekomst met de magnetohydrodynamica opgelost kunnen worden.