

# Het uitdijend heelal

N.G. Schultheiss

## 1 Inleiding

Deze module volgt op de module “Het heelal”. In deze module wordt uitgelegd hoe ontdekt is dat het heelal groter wordt. Uiteraard kunnen we dan ook de gedachte formuleren dat het heelal vroeger kleiner was. Heel lang geleden was het heelal waarschijnlijk oneindig klein. Dit idee wordt ook wel de “The Big Bang” genoemd.

## 2 Vesto Slipher

Vesto Melvin Slipher deed in eerste instantie spectrografisch<sup>1</sup> onderzoek aan planeten om de omlooptijd te bepalen. Een aantal planeten wordt omgeven door een wolkendek. Bij gevolg is het oppervlak niet te zien en zijn er ook geen duidelijke details waarneembaar. Als we kunnen kijken hoe snel het gas aan de ene kant naar ons toekomt en hoe snel het gas aan de andere kant van ons afgaat, kunnen we de omlooptijd van een planeet bepalen.

Gelukkig hebben soorten atomen een eigen kleur. Als de atomen van ons af bewegen verschuift deze kleur naar het rood en als ze naar ons toe komen verschuift deze kleur naar het violet. Als we de kleurverschuiving weten, kunnen we de snelheid met het Doppler effect berekenen. Als we de snelheid weten, kunnen we de omlooptijd van een planeet uitrekenen.

In figuur 2.1 is een opstelling geschetst waarmee de kleurverschuiving te meten is. In het geval van de reflectie aan een planeet zullen de atomen hun bijbehorende kleuren absorberen. Dit worden donkere lijnen in het spectrum tussen rood en violet. In de opstelling kan het zijn dat het licht van de ene kant van de planeet over het licht van de andere kant van de planeet wordt afgebeeld. Als we een diafragma tussen de vlakke spiegel in de telescoop en het oculair van de telescoop plaatsen, wordt alleen het licht dat we willen meten doorgelaten. Dit is dan bijvoorbeeld het licht van de linkerkant van de planeet.

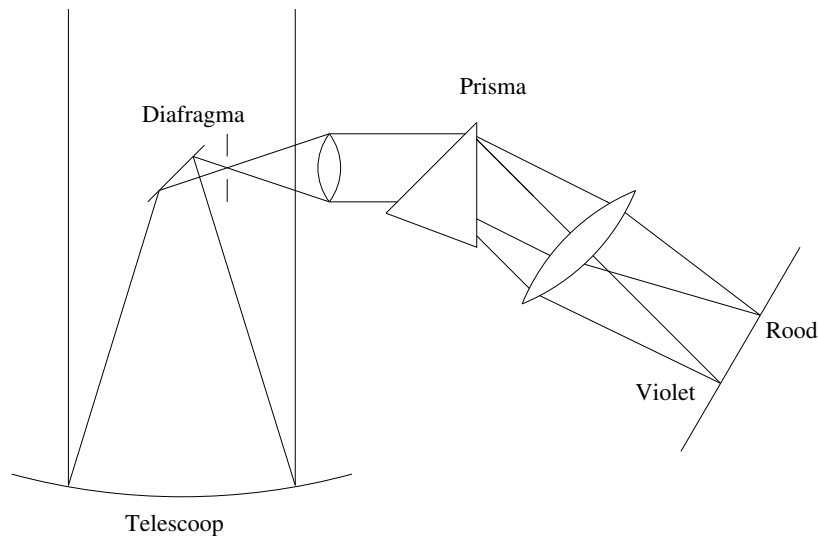
In de praktijk is het handiger om een extra lens na de telescoop te gebruiken. We kunnen dan het diafragma tussen de telescoop en de lens voor het prisma plaatsen.

## 3 Het Doppler effect

Alle golven en dus ook lichtgolven zijn te definiëren met twee van de drie volgende grootheden:

---

<sup>1</sup>Met een spectrografisch onderzoek bestudeert men de het spectrum kleuren van een voorwerp.



Figuur 2.1: Een telescoop met spectroscop

- De golflengte  $\lambda$ , deze wordt gemeten in [m] en geeft aan hoelang een golf is.
- De frequentie  $f$ , deze wordt gemeten in [Hz] en geeft aan hoeveel trillingen er in een seconde worden verstuurd in de golf. Bij geluidsgolven horen we dit aan de toonhoogte, bij lichtgolven zien dit aan de kleur van het licht. Eventueel is de frequentie ook te berekenen met  $f = \frac{1}{T}$ , waarin  $T$  de trillingstijd (de duur van 1 trilling) in seconde is.
- De golfsnelheid  $v$ , deze wordt gemeten in [m/s] en geeft aan hoe snel de golf zich verplaatst. Voor lichtgolven is dit de lichtsnelheid  $c = 299792458$ [m/s].

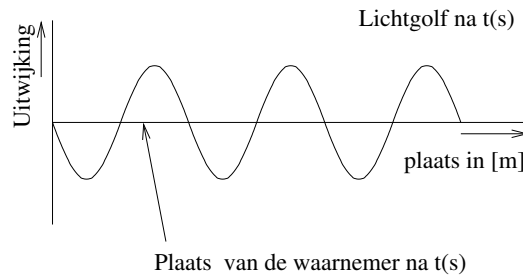
Deze drie grootheden kunnen met de volgende formule gekoppeld worden:

$$v = \lambda f \quad (3.1)$$

Daarnaast komen we ook de grootheid  $\phi$  of de fase tegen. Deze grootheid is een getal en geeft aan hoeveel golven er gepasseerd zijn. Uiteraard heeft  $\phi$  de hoogste waarde bij de bron en de laagste waarde (0) bij het eerste golffront.

In het geval van geluidsgolven is er geen sprake van relativistische effecten en kunnen we kijken hoe de frequentie verandert als de bron met een snelheid  $v_{bron}$  beweegt. Voor de geluidssnelheid nemen we voor de duidelijkheid  $v_{geluid}$ . In figuur 3.1 is te zien waar het geluid ( $s_{geluid} = v_{geluid}t$ ) en de bron ( $s_{bron} = v_{bron}t$ ) op het tijdstip  $t$  zijn.

In figuur 3.1 zien we dat de geluidssnelheid van het geluid ten opzichte van de waarnemer kleiner is geworden, deze wordt  $v = v_{geluid} + v_{bron}$ . Bijgevolg zijn er ook minder fasen langs de waarnemer gekomen. Het aantal fasen is:



Figuur 3.1: Het Doppler effect voor geluid Galilei-transformatie

$$\phi_{waarnemer} = \frac{v_{geluid}}{v_{geluid} + v_{bron}} \phi_{geluid} \quad (3.2)$$

Voor de frequentie of het aantal fasen per seconde geldt:

$$f_{waarnemer} = \frac{v_{geluid}}{v_{geluid} + v_{bron}} f_{geluid} \quad (3.3)$$

$$\Delta f = f_{waarnemer} - f_{geluid} = \frac{v_{geluid}}{v_{geluid} + v_{bron}} f_{geluid} - f_{geluid} \quad (3.4)$$

$$\Delta f = \frac{v_{bron}}{v_{geluid} + v_{bron}} f_{geluid} \quad (3.5)$$

Of met licht:

$$\Delta f = \frac{v_{bron}}{c + v_{bron}} f_{licht} \quad (3.6)$$

Zolang de snelheden verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de lichtsnelheid, geldt formule 3.5. Helaas gaat de tijd ook langzamer als de snelheid in de buurt van de geluidssnelheid komt. Voor snelheden in de buurt van de lichtsnelheid moeten we nu corrigeren:

$$\Delta f = \left( \sqrt{\frac{c + v_{bron}}{c - v_{bron}}} - 1 \right) f_{licht} \quad (3.7)$$

**Opdracht 1:** Vesto Slipher ontdekte dat de Andromeda-nevel met 300km/s naar ons toe komt. Onderzoek of deze snelheid het noodzakelijk maakt om formule 3.6 of formule 3.7 te gebruiken.

## 4 Hubble en Lemaitre

Edwin Powell Hubble had de beschikking over een 100" telescoop, toendertijd was dit de grootste telescoop op Aarde. Doordat deze telescoop een grote resolutie had kon Hubble waarnemen dat nevels geen nevels zijn maar sterrenstelsels. Verder nam hij waar dat sterrenstelsels over het algemeen van ons af bewegen en niet zoals bij de Andromeda-nevel naar ons toe.

Verder leek het erop dat hoe verder een sterrenstelsel van ons af staat, hoe groter de snelheid wordt. De Hubble-constante ligt in de buurt van de  $70[\text{km/sMpc}]$ . "Mpc" staat hier voor Megaparsec. Omdat een Parsec ongeveer 3.25 lichtjaar is, kunnen we ook zeggen dat de Hubble constante  $21,5[\text{km/s}]$  per megalichtjaar is.

**Opdracht 2:** *Het heelal schijnt ongeveer 13,6 miljard jaar oud te zijn. Het licht kan dus in die tijd maximaal een afstand van 13,6 miljard lichtjaar afleggen. Bereken met de Hubble constante hoe snel de rand van het heelal van ons af gaat. Verbaast dit antwoord je?*

Terugredenerend kwam monsigneur Georges Henri Joseph Edouard Lemaître tot de conclusie dat er een begin van het heelal moest zijn. Dit idee werd door diverse wetenschappers zo bizar gevonden dat ze het over "The Big Bang" hadden. Tegenwoordig is dit een algemeen aanvaarde gedachte.

## 5 Onderzoek naar de Big Bang

Als er ooit een Big Bang geweest is, moet dit natuurlijk experimenteel bevestigd kunnen worden. Vanwege het Doppler effect moeten we dan naar lange golflengten kijken. Deze liggen in het infrarode gebied en eventueel zelfs in het gebied van de radiogolven. In 1983 is de infrarode straling aan de hemel gemeten met de IRAS-satelliet.

**Opdracht 3:** *Verklaar waarom infrarode straling niet vanaf de Aarde gemeten kan worden.*

**Opdracht 4:** *Leg uit waarom men voor een infrarood telescoop een grotere spiegel nodig heeft dan voor een zichtbaar licht telescoop.*

**Opdracht 5:** *Leg uit hoeveel maal groter de resolutie van de Hubble-telescoop (voor zichtbaar licht) is dan de resolutie van de IRAS-telescoop (voor infrarood licht).*