

# Zero Point Energie (nulpuntsenergie) en gequantiseerde roodverschuiving

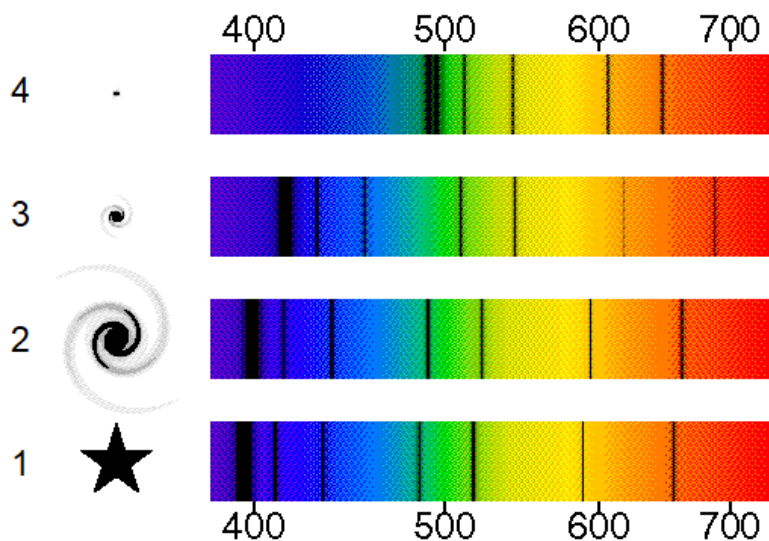
## Wat is roodverschuiving?

Een opmerking vooraf: dat de natuurkunde vooruitgaat, komt niet alleen door knappe en/of creatieve mensen, maar voor een belangrijk deel ook doordat er betere en meer verfijnde apparatuur ter beschikking komt. Dat geldt zeker ook voor dit onderwerp. Het licht van sterren – en de zon – wordt uitgezonden, niet als één frequentie, maar als een hele frequentieband. In een spectroscop wordt het licht via een prisma over een breed gebied uitgespreid. Zie figuur 1. Nu blijken in die kleurenband patronen met dunne verticale lijntjes te bestaan, die ontstonden omdat licht door de atmosfeer van die ster ging. Daardoor werden uit dat licht

### Roodverschuiving van sterrenlicht

De getallen zijn de golflengte in nanometers (miljoenste millimeters)

1. De onderste ster is dichtbij. De absorptielijnen in het spectrum hebben een bepaald patroon
2. Een nabij sterrenstelsel. De absorptielijnen zijn iets meer naar de rode kant verschoven
3. Een ver sterrenstelsel. De roodverschuiving is nog weer groter
4. Een zeer ver object. Door de enorme roodverschuiving zijn enkele absorptielijnen buiten beeld



Gekopieerd van webpagina <http://www.angelfire.com/nt/fairytales/redshift.html>

Figuur 1: Roodverschuiving neemt toe met de afstand

bepaalde frequenties uitgefilterd door de in de steratmosfeer aanwezige elementen. Die groepjes zgn. 'Fraunhofer'-lijntjes zien er voor elk element uit als een soort barcode. Aan het patroon van die codes kan gezien worden welke elementen in een steratmosfeer aanwezig zijn.

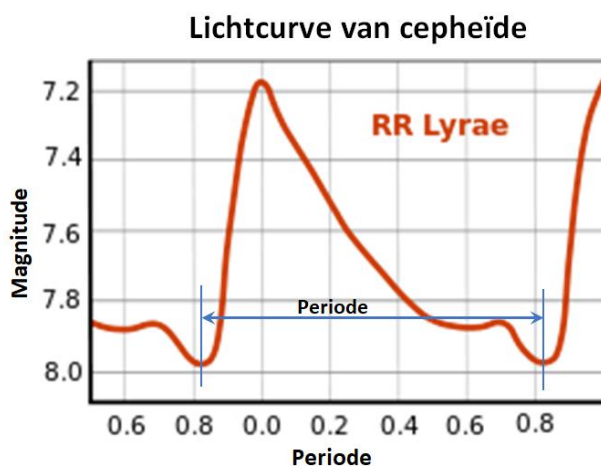
## Cepheïden

Men had al enkele methoden ontwikkeld, om de afstand tot sterren te meten. Eén van de sterren waarvan men de afstand had gemeten, was  $\delta$  Cepheï, een ster in het sterrenbeeld

Cepheus, dat bij ons altijd boven de horizon is, tussen zenith (boven ons hoofd) en de noordelijke horizon. De afstand tot deze ster heeft men vastgesteld op rond 300 lichtjaar. Bovendien was dit een heel bijzondere ster. Zijn lichtkracht is niet constant maar varieert op een bepaalde, buitengewoon regelmatige manier. In elke variatieperiode is er een minimum en een maximum. Er zijn in het heelal vele sterren die deze eigenschap hebben. Wij noemen ze Cepheïden, zie figuur 2, naar die eerste ster uit Cepheus. En zij hebben nog een typische

karacteristiek. Men heeft kunnen vaststellen dat de gemiddelde lichthoeveelheid die ze uitstralen (hun lichtkracht), in een bepaalde vaste verhouding staat tot hun lichtperiode (de tijd van maximum tot maximum). Dus als we nu ergens een Cepheïde tegenkomen, dan moeten we alleen maar kijken hoe lang zijn periode is van maximum tot maximum, en we weten zijn lichtkracht.

Maar hoe verder een ster wegstaat hoe zwakker het licht is dat ons bereikt. Als nl. een ster 2



*Figuur 2: Lichtcurve van een cepheïde*

maal zo ver weg is, is zijn licht  $2^2 = 4$  maal zo zwak, en bij 3 x zo ver weg al  $3^2 = 9$  maal zo zwak. Dus door het waargenomen licht (magnitude) te vergelijken met de theoretische lichtkracht weten we de afstand. We hebben de kennis over Cepheïden te danken aan een vrouw, de Amerikaanse Henrietta Swan Leavitt, die er tussen 1907 en 1921 meer dan 2400 heeft opgemeten en gedocumenteerd. Daardoor kon later Edwin Hubble baanbrekend werk doen.

### Onderzoek Vesto en Slipher

Tussen 1912 en 1922 deden de onderzoekers Vesto Slipher en Francis Pease metingen van de roodverschuiving van 42 sterrenstelsels buiten het onze, in het Lovell observatorium in Flagstaff (USA). In 1923-24 ontdekte Edwin Hubble (1889-1953) met de nieuwe grote 2,5 meter telescoop van Mount Wilson in Californië dat er Cepheïden in deze sterrenstelsels aanwezig waren, en zo was hij in staat de afstand tot die stelsels vast te stellen.

### Wat Hubble opviel

Toen Hubble daarnaast de gegevens van Slipher en Peace legde over de roodverschuivingen, viel hem iets op. Namelijk, dat die roodverschuivingen toenamen met de afstand, dat wil zeggen dat die Fraunhofer-patronen naar de rode kant wegschoven, naarmate de objecten verder weg waren. Dus de mate van roodverschuiving is een maat voor de afstand tot die

sterrenstelsels. Vervolgens zag Hubble een analogie met het zgn. Dopplereffect, dat optreedt als een politieauto met loeiende sirene komt aanscheuren. Op het moment dat die voorbij gaat, daalt de toon. Dat komt omdat de bron van het geluid eerst naar ons toe beweegt en



later van ons af. Zodoende 'rekken' de geluidsgolven uit en geven een lagere toon. Dus, zo redeneerde Hubble, die roodverschuiving heeft te maken met de van ons wegvliegende sterrenstelsels. Hoe harder ze vliegen des te roder wordt het licht, het wordt ook als het ware uitgerekt, want de bron van dat licht verwijderd zich van ons. Hubble interpreteerde dus die roodverschuiving als een Dopplereffect. Dat hier de wet van behoud van energie met voeten wordt getreden, viel nog niet zo direct op, maar het is toch iets om serieus over na te denken. Dat gebeurde niet! Anderen vermenigvuldigden vervolgens die roodverschuiving met de lichtsnelheid en bepaalden zo de vluchtsnelheid van die sterrenstelsels. Of in formule:  $v = z \cdot c$ . Hubble zelf is daarmee nooit erg gelukkig geweest. Dat men dat zo interpreteerde heeft twee oorzaken:

1. was dat de meest voor de hand liggende verklaring, bovendien paste die goed binnen het ook in de kosmologie langzamerhand gangbare evolutionaire wereldbeeld met hoge ouderdom voor het heelal, en
2. was de opvatting van een *gekwantiseerde* roodverschuiving toen onmogelijk vanwege de daarvoor te geringe kwaliteit van het instrumentarium, en de stand van de toenmalige inzichten.

Dus (volgens deze opvatting): hoe verder sterrenstelsels van ons vandaan staan, met des te groter snelheid vliegen ze van ons en van elkaar vandaan. Nu kon men ook de afstand en de snelheid van andere objecten dan Cepheïden bepalen. Door de roodverschuiving was de vluchtsnelheid van een sterrenstelsel bekend, en aan de hand van de uitkomsten van het bovengenoemde onderzoek bepaalde men de afstand. Men zag een lineair (rechtstreeks) verband tussen die twee, dat als volgt kan worden weergegeven:  $r = v / H_0$ , of, in woorden: de afstand ( $r$ ) = de vluchtsnelheid ( $v$ ), gedeeld door een constante. Die om voor de hand liggende redenen de Hubble-constante werd genoemd. De formule is bekend geworden als de *wet van*

*Hubble*. Die Hubble-constante was niet zo constant, oorspronkelijk vastgesteld op 536, later teruggebracht tot 100, en sinds midden van de jaren zeventig van de 20<sup>e</sup> eeuw vastgesteld op 55, ongeveer 10 maal kleiner dus.

## De 'Big Bang'

Toen door verbeterde apparatuur ook de roodverschuivingen van zeer veraf gelegen sterrenstelsels konden worden gemeten, bleken deze groter dan 1 te zijn. Dat betekende dat zij met een snelheid van groter dan de lichtsnelheid van ons zouden wegvlugten. Daardoor zou een



belangrijk axioma van de natuurkunde, nl. dat niets sneller kan gaan dan het licht, zijn ondergraven. En dat was niet acceptabel. Daarom is de lineaire wet van Hubble vervangen door een ingewikkelder vergelijking, zodat de waarnemingen en de theorie weer in overeenstemming zijn. De Belgische RK priester Georges-Henri Lemaître (1894-1966) (afbeelding hierboven) trok daaruit de conclusie dat er een moment moet zijn geweest in het verleden, waarop alle materie op één punt samengebald zou zijn geweest. Hij noemde zijn theorie *hypothese van het oeratoom*, door Fred Hoyle in een BBC-radioprogramma spottend de 'Big Bang' genoemd.

## Terug naar de roodverschuiving: quantisering

In mei 1976 publiceerde William G. Tifft van het Steward Observatorium in Tucson, Arizona het eerste van een aantal documenten waarin hij metingen van de roodverschuiving analyseerde<sup>1</sup>. Hij zag dat de roodverschuiving niet geleidelijk veranderde naarmate de afstand toenam, maar stapsgewijs, met andere woorden: zij was **gequantiseerd**. Tussen de opeenvolgende stappen bleef de roodverschuiving gefixeerd op de waarde van het laatste sprongetje. Deze eerste studie was zeker niet volledig en dus ging Tifft verder met zijn onderzoek. Al doende ontdekte hij dat zijn originele waarnemingen die een gequantiseerde roodverschuiving suggereerden werden bevestigd, waar hij ook keek.

In 1981 was het uitgebreide onderzoek van Fisher-Tully naar de roodverschuiving gereed. Omdat de waarden voor de roodverschuiving in dit onderzoek niet waren geclusterd op de manier die Tifft eerder had gevonden, zag het er naar uit dat quantisering van de roodverschuiving kon worden uitgesloten. Maar in 1984 wezen Tifft en Cocke erop dat de beweging van de zon

en ons zonnestelsel door de ruimte zelf ook een Dopplereffect produceerde, dat een fractie toevoegt of vermindert aan elke meting van de roodverschuiving. Toen alle waarnemingen van Fisher-Tully met deze waarden konden worden gecorrigeerd, leverde dat een duidelijk bewijs op voor de quantisering van de roodverschuivingen door het hele heelal. De oorspronkelijke quantisering die Tifft had gevonden was een roodverschuiving van 72,46 km/sec in de sterrenstelsels in het sterrenbeeld 'Haar van Berenice'. Vervolgens werd ontdekt dat er quantiseringswaarden voorkwamen tot 13 maal die 72,46 km/sec. Nader onderzoek reduceerde die quantiseringswaarde tot de helft, nl. 36,2 km/sec. Dit werd later bevestigd door Guthrie en Napier in Glasgow, die concludeerden dat 37,6 km/sec een betere waarde was, met een maximale fout van 2 km/sec. Na verdere waarneming kondigde Tifft in 1991 aan, dat deze en andere eerder genoemde roodverschuivings-quantiseringswaarden veelvoudig waren van een basis quantiseringswaarde. Die waarde bleek 8,05 km/sec te zijn. Wanneer die werd vermenigvuldigd met 9 gaf dat de originele waarde van 72,46 km/sec. Indien vermenigvuldigd met 9/2 komt daar de waarde 36,2 km/sec uit. Maar Tifft gaf aan dat deze 8,05 km/sec nog niet definitief was, omdat sommige waarnemingen een waarde van  $8,05/3$  oftewel 2,68 km/sec quantisering te zien gaven, die nog fundamenteler was. Als we dit resultaat nemen voor wat het is,



*William G. Tifft, Stewart Observatory*

zou de quantisering van de roodverschuiving dus uitkomen op 2,68 km/sec door de hele kosmos.

{Later bleek het toch iets anders te zijn, en werden vanuit onze 'buurt' de quantiseringswaarden vele malen herhaald en werden langzaam groter met minder herhalingen, terwijl helemaal aan het eind de waarden zeer groot worden en geen herhalingen meer optreden.}

Uiteraard volgde er een stevige discussie, want de consequenties zijn nogal ingrijpend. De ontdekkingen van Tifft, die intussen door vele anderen zijn bevestigd, betekenen immers dat het Dopplereffect is uitgezwaaid als verklaring voor de roodverschuivingen. Want een sterrenstelsel kan niet met een eenparig versnelde beweging bij ons vandaan vliegen en dan plotseling 2,86 km/sec harder gaan vliegen. Nee, het Dopplereffect vereist een gelijkmatige versnelling. Nu zijn er roodverschuivingen (en zelfs blauwverschuivingen, die het gevolg zijn van

snelle beweging van stelsels) die dus wel zijn toe te schrijven aan een Dopplereffect. Maar de algemene regel is, dat roodverschuiving is gequantiseerd.

Maar er wachtten nog enkele verrassingen, die te maken hadden met supernova's: exploderende sterren. In recente jaren (2001-2003) bleek er een supernova te zijn, wiens roodverschuiving een afstand aangaf kleiner dan de werkelijke. Dit opende speculaties over een heelal dat sterker uitdijt dan gedacht. Maar die gedachte moest al spoedig worden vervangen door het tegendeel, omdat er een zelfde type supernova (Ia) werd ontdekt, waarvan de roodverschuiving een afstand aangaf, veel groter dan de werkelijke. En men vond meer van deze supernova's. Trouble in paradise! Al deze ontdekkingen gaven aan dat er iets aan de hand was met de Dopplereffect interpretatie van de roodverschuiving.

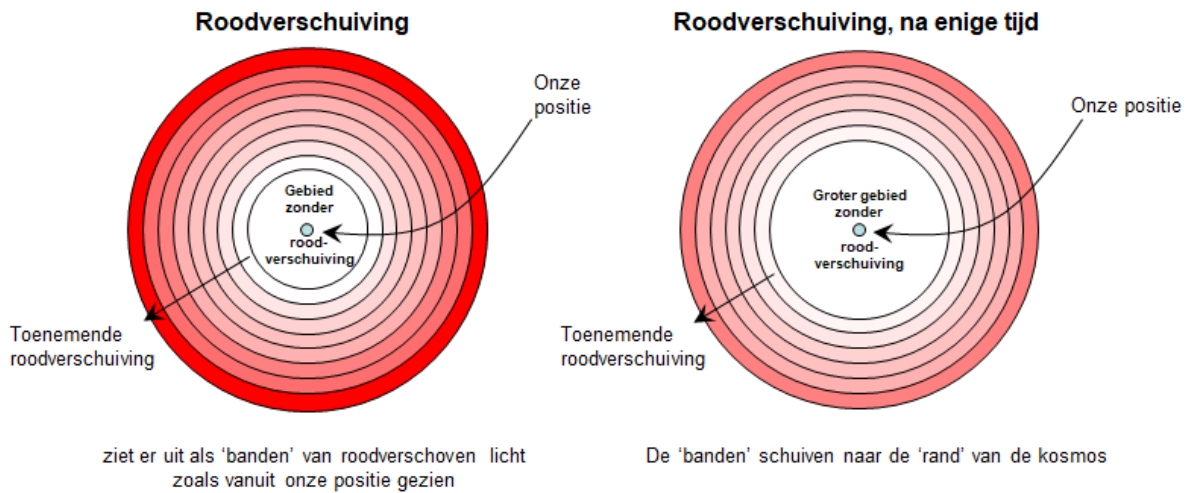
### **Betekenis en gevolgen**

Wat betekent dit nu voor ons verstaan van het universum? Wanneer we de resultaten van deze onderzoeken combineren met wat we over de ZPE hebben gezegd, dan lijkt maar één conclusie gepast: de roodverschuiving is het gevolg van de lagere energietoestand van het ZPF in het verleden. Want de materie die zich in een minder krachtig ZPF bevindt, straalt elektromagnetische straling met een lager energieniveau uit, zoals we hierboven concludeerden. En lager energieniveau beduidt: roder. De straling is naar het rode deel van het spectrum verschoven. Omdat energie-uitwisseling tussen ZPE en atomen pas kan als er een quantum energie beschikbaar komt, gaat die uitwisseling niet geleidelijk, maar met 'sprongetjes'. Het zijn die sprongetjes, die de roodverschuiving gequantiseerd maken. De conclusie is dat het ZPF een lager energieniveau had in het verleden, en wel des te lager, naarmate we verder het verleden induiken. Vandaar dat roodverschuiving wel met afstand, maar niet met snelheid heeft te maken. Ook kunnen we vaststellen dat roodverschuiving te maken heeft met tijd. Hoe langer geleden, hoe roder. Het lijkt er dus serieus op dat de energie het ZPF in het verre verleden erg laag moet zijn geweest. Dat moet natuurlijk consequenties hebben voor andere grootheden in het heelal.

Een volgende keer gaan we zien wat dit alles voor betekenis heeft voor de lichtsnelheid.

### **Nog enkele beelden ter verduidelijking**

Als de roodverschuiving gequantiseerd is, kunnen we 'banden' of 'gordels' van toenemende roodverschuiving zich van ons af zien bewegen. Het is ook waargenomen dat de roodverschuiving in een sterrenstelsel na enige tijd een tint roder was geworden. Zelfs is in een sterrenstelsel vastgesteld, dat de naar ons toegekeerde zijde een lagere roodverschuiving vertoonde dan de zijde die van ons af gekeerd is. Het is dus werkelijk een reëel verschijnsel.



Het volgende beeld verduidelijkt de situatie nog wat verder. Het spreekt wel voor zichzelf:

