Leven midden in de ruimte op de grens van tijd

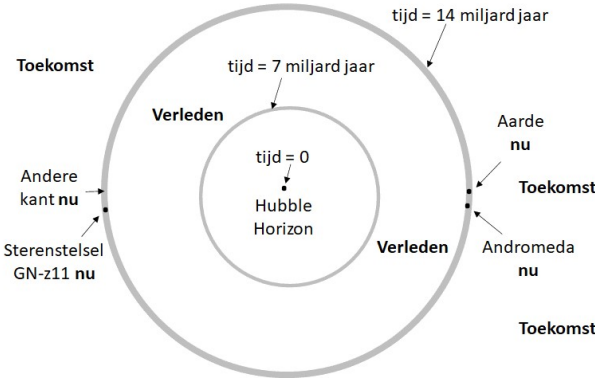
Een kloppende theorie van het universum zonder donkere energie en donkere materie

Inleiding

In zijn boek 'My Theory' uit 1917 beschreef Einstein het universum als 3-sfeer. Hij dankte zijn model in 1931 af, nadat hij het werk had gezien van de astronoom Hubble over de roodverschuiving van verre sterrenstelsels. Nu blazen we Einsteins model nieuw leven in door gebruik te maken van Minkowski's ruimtetijd en aanpassing van de Hubble-wet aan verre sterrenstelsels. Dit resulteert in een universummodel dat geen donkere energie of donkere materie nodig heeft, waardoor het vernieuwde model van Einstein weer een echt *ruimtetijdmodel* wordt: ons model is genoemd naar Einstein, Minkowski, Robertson en Walker: EMRW. Dit model vervangt het huidige FLRW-model.

Minkowski: denken in ruimtetijd

Minkowski, de professor van Einstein, formuleerde het welsprekend in 1908: 'Voortaan zijn ruimte en tijd gedoemd om te vervagen in louter schaduwen en alleen een soort fusie van die twee zal behouden blijven als een onafhankelijke realiteit'. Dit is ruimtetijd. Laten we dit toepassen op een uitdijend universum en denken aan uitdijing oftewel expansie van ruimtetijd. Laten we tijd beschouwen als de echte vierde dimensie.



Figuur 1: 2D-doorsnede van het 4D-universum in de ruimtetijd

Het universum dijt dan niet alleen uit in ruimte, maar ook in tijd. We komen dan tot een eenvoudige stelling: *'De toekomst ligt buiten de ruimtetijd van ons universum'*, zie figuur 1. Het ruimtetijdmodel is een 3D-bolschil, gebogen in een vierde dimensie, waarvan je hier slechts een 2D-doorsnede (gelijktijdigheidscirkel) ziet op twee tijdstippen. Meer uitleg over dit lastige begrip in de paragrafen 'Einsteins eerste universummodel' en 'Minkowski en het begrip ruimtetijd'.

Het nu en de toekomst van ons universum

Het gevolg is dat het verleden aan de *binnenkant* ligt van de getekende ruimtetijd oftewel van ons gekromde universum. Dit betekent dat we in de rand van het ruimtetijdmodel leven. We zouden deze rand simpelweg het 'nu' kunnen noemen. 'Nu' is echter moeilijk te definiëren. Je kunt 'nu' niet meten, zelfs niet met een klok. Klokken blijven tikken; er bestaat niet zoiets als 'de' tijd. We kunnen niet iemands tijd bevestigen: bijvoorbeeld hoe laat het is; onze tijdmeting is altijd iets later. Het probleem voor kosmologen is nog moeilijker: wat we nu van elk sterrenstelsel waarnemen, is hoe het daar vele miljoenen of zelfs miljarden jaren geleden was. In het oorspronkelijke model van Einstein werd voorkomen dat het universum door zijn eigen zwaartekracht zou instorten met behulp van een kosmologische constante, die nu 'donkere energie' wordt genoemd.

In het huidige denken (het FLRW-model) zou de expansie steeds sneller gaan; zie de paragraaf 'Originele wet van Hubble en donkere energie'. Volgens ons nieuwe EMRW *ruimtetijdmodel* gaat de uitdijing van het universum in de loop van de tijd steeds langzamer maar stopt nooit; zie de paragraaf 'Een uitdijingsmodel van het universum op basis van energiebehoud', waarvoor

bovendien geen donkere energie nodig is. Om ons EMRW-model te begrijpen, moeten we teruggaan naar de basis van natuurkunde en relativiteitstheorieën: variabelen, constanten, eenheden en coördinaten.

Coördinaten en meeteenheden in de relativiteitstheorieën

Natuurkunde is gebaseerd op metingen. De kunde van natuurkundigen is om de eenvoudigste formules te vinden voor de beschrijving van waarnemingen. Een formule als Einsteins $E = m.c^2$ is zo'n schoonheid in de natuurkunde. De 14e-eeuwse monnik Ockham zei het al zo welsprekend: 'De eenvoudigste oplossing die de waarnemingen kan verklaren, heeft de voorkeur'. Dit principe noemen we nu 'Ockhams scheermes'.
Wat veel natuurkundigen echter over het hoofd zien, is dat de formule $E = m.c^2$ zonder de bijbehorende meeteenheden geen betekenis heeft. We hebben die eenheden nodig om in de praktijk een bruikbare uitkomst te krijgen. Deze eenheden zijn gestandaardiseerd door de SI-organisatie (Frans: Système International d'unités), genaamd SI-eenheden. Metingen bestaan uit coördinaten, oftewel grootheden, zoals de hoeveelheden massa m, lichtsnelheid c en energie 'E' die gekoppeld zijn met hun SI-eenheden, respectievelijk kilogram, meter per seconde en joule. Coördinaten kunnen variabelen of constanten zijn: coördinaat c is een constante: 299.792.458.
Eenheden maken het verschil tussen wiskunde en natuurkunde. Jouw leraar natuurkunde op de middelbare school zei het waarschijnlijk al: 'vergeet de eenheden niet'. Een meetwaarde oftewel grootheid (een getal) zonder eenheid [kg of km] heeft geen natuurkundige betekenis. Maar zelfs Einstein vergat soms de eenheden. Dit is vooral merkwaardig omdat juist hij degene was die de eenheden variabel maakte; zie verderop. De eenheden in de relativiteitstheorieën worden in dit artikel gemarkeerd door de eenheden tussen vierkante haken [ ] te schrijven.
Met andere woorden, wanneer je een formule ziet gevolgd door eenheden tussen vierkante haken, weet je dat de eenheden kunnen variëren. Bijvoorbeeld: de energie van een deeltje op aarde wordt gegeven door $E = m.c^2$ [J]. Zowel de variabele energie E als de eenheid joule variëren met snelheid en zwaartekracht (gravitatie). Laten we, om variabele eenheden te begrijpen, de eenheid seconde bekijken. Deze eenheid is volgens de SI-organisatie gedefinieerd als 9.192.631.770 cycli op een cesiumklok. Einstein betoogde in 1916 dat een klok langzamer tikt op snelheid en in gravitatie: dat geeft 'tijdsdilatatie'. Dit werd pas in 1971 door Hafele en Keating bevestigd door experimenten met cesiumklokken in vliegtuigen. De lengte van de eenheid seconde (9.192.631.770 cycli) hangt dus af van zowel snelheid als gravitatie. *De eenheid seconde blijkt geen constante, maar een variabele te zijn.* We kunnen echter in de meetnatuurkunde niet alleen werken met variabele eenheden, we hebben ook een standaard nodig waarmee we ons kunnen verhouden. Daarom gaan we, in de relativiteitstheorieën, Greenwich gebruiken voor de standaardeenheid seconde [s_{2000}] zie kader 1.
Ons EMRW-model als uitdijende ruimtetijd is gebaseerd op variabele basiseenheden (seconde, meter, kilogram en coulomb), wat leidt tot verrassend goede resultaten. Allereerst moeten we onze waarnemingen goed doen. We moeten kijken naar wat we kunnen waarnemen en hoe de waarnemingen verband houden met tijd, het onderwerp van de volgende twee paragrafen.

Kader 1: Relativiteit van de eenheid seconde

Om de eenheid seconde te standaardiseren, gaan we uit van de omstandigheden van Greenwich op de eerste seconde van de eerste dag van het jaar 2000: [s_{2000}].
Voorbeelden zijn:

[s] = 0,5[s_{2000}]	7 miljard jaar geleden in [s_{2000}]
[s] = 0,1[s_{2000}]	op dwergsterrenstelsels ($z \approx 9$)
[s] = 0,001[s_{2000}]	op het oppervlak van laatste verstrooiing

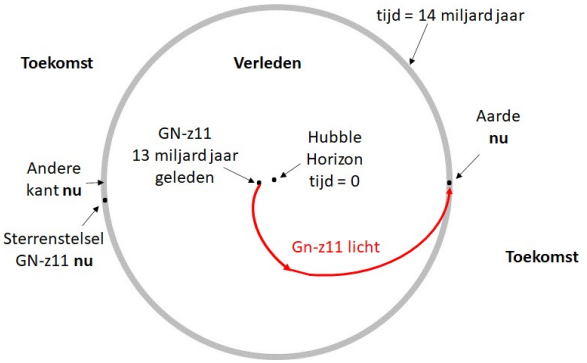
Hoe ver kunnen we in het verleden kijken?

De snelheid van het licht c in vacuüm is hoog: 299.792.458 [m/s]. Dit is geen benadering, maar is 100% exact. Dat komt doordat de SI-organisatie de oude definitie van de meter als eenheid (op

basis van de lengte van een meetlat in Parijs) heeft verlaten en deze heeft vervangen door de afstand die het licht in vacuüm in 1/c seconden aflegt. Ondanks de hoge lichtsnelheid, is een sterrenstelsel als Andromeda zó ver weg dat het ongeveer 2,54 miljoen jaar duurt voordat haar licht de aarde bereikt. Onze afstand tot Andromeda is 2,54 miljoen *lichtjaar*.
Het verste tot nu toe waargenomen sterrenstelsel is GN-z11, dat zich nu bijna aan de andere kant van ons universum bevindt: op ongeveer 13 miljard lichtjaar van de aarde. De lichtsnelheid is beperkt en we kunnen niet verder terugkijken in de tijd dan dat die is gevorderd, zo'n 14 miljard jaar. Bijgevolg ligt onze waarnemingshorizon in het universum op 14 miljard lichtjaar in afstand; kosmologen noemen dat de 'Hubble-lengte'; wij noemen die afstand *en óók die tijd* de 'Hubble Horizon' in ruimtetijd, zie de figuren 1 en 2. De oerknal (of Big Bang) wordt dus vervangen door de Hubble Horizon, een hommage aan zowel Hubble als Humason die het nauwkeurige meetwerk hebben gedaan in 1931, meer daarover verderop.

Wat zien we?

Figuur 2 laat zien wat we waarnemen met onze telescopen, zoals met de Hubble-ruimtetelescoop. Merk op dat het waargenomen licht van GN-z11 (rode lijn) in ons ruimtetijdmodel naar ons toe spiraalt. Immers het licht reist door de ruimte: dat is hier in iedere cirkel van ieder kosmostijdstip, terwijl de cirkel zelf steeds groter wordt in de loop van de kosmostijd naar 'nu'. Door de groeiende cirkel, veroorzaakt door de uitdijing van het universum, krijgt het traject van het licht de vorm van een steeds wijder wordende spiraal. De zeer snelle en korte expansie aan het begin van het traject wordt het 'inflatietijdperk' genoemd, zoals we verderop zullen zien.



Figuur 2: Het traject van het licht van GN-z11

Een horizon in ruimtetijd?

Ja, een horizon in de ruimtetijd. Die horizon zal morgen dezelfde zijn, net als een horizon op zee. Je kunt varen naar een boei die nu aan je huidige horizon ligt, maar je kunt de horizon zelf nooit bereiken.
Evenzo, als je terug in de tijd zou kunnen reizen (dat is onmogelijk), zou de Hubble Horizon net zo ver liggen als nu, op ongeveer 14 miljard lichtjaar afstand en 14 miljard jaar in het verleden. Met andere woorden, er was geen oerknal (Big Bang), er is slechts een horizon in de ruimtetijd: de Hubble Horizon. Volgens de huidige kosmologie zou een oerknal het begin zijn geweest van ons universum, geboren aan het begin van de tijd met een enorme explosie in een oneindig klein volume. Is dat aannemelijk? Het alternatief voor de huidige opvattingen is: de Hubble Horizon in ruimtetijd.

Het principe van meebewegende coördinaten

De sleutel tot het begrijpen van de Hubble Horizon ligt in het principe van de 'meebewegende coördinaten' van Robertson en Walker. In 1931 werden deze astronomen geconfronteerd met het volgende probleem: als het universum uitdijt en als gevolg daarvan sterrenstelsels van ons af bewegen, hoe meten we dan hun positie? De meeste sterrenstelsels bewegen van ons af, waardoor het onmogelijk is hun afstand exact te meten. Binnen ons zonnestelsel hebben we hetzelfde probleem. Wat is bijvoorbeeld de exacte afstand van Mars tot de zon?

Astronomen hebben hiervoor een eenvoudige methode, namelijk het definiëren van de afstand zoals die was op de eerste seconde van de eerste dag van het jaar 2000. Die afstand krijgt dan het onderschrift 2000, zoals je zag in kader 1. Op basis van zijn bekende baan, kunnen we dan de positie van Mars in de loop van de tijd nauwkeurig berekenen.
Het toepassen van deze methode op de uitdijing van het universum levert echter een extra probleem op. Vanwege de enorme uitgestrektheid van het universum krijgen we een tijdsprobleem: is de snelheid zoals we die nu meten van sterrenstelsels, de snelheid zoals die in het verre verleden was of is het de snelheid zoals die nu is? Bovendien wordt die snelheid niet alleen veroorzaakt door de uitdijing van het universum, maar ook door lokale gravitatie (zwaartekracht).
Om dit soort problemen te omzeilen, introduceerden Robertson en Walker (R&W) 'meebewegende coördinaten', wat betekent dat de drie coördinaten van een ver sterrenstelsel (afstand, rechte klimming en declinatie) met de uitdijing meebewegen. *Meebewegende coördinaten blijven hetzelfde binnen een uitdijend universum, alleen de eenheden dijen uit.* De afstand van de aarde tot een sterrenstelsel blijft hetzelfde mits deze geen lokale snelheid heeft, veroorzaakt door lokale zwaartekracht. Voor zeer verre sterrenstelsels is hun gemeten snelheid een orde van grootte groter dan de lokale snelheid. De uitdijing van het universum verandert zo praktisch niets aan de drie meebewegende coördinaten van R&W, die de positie van een ver sterrenstelsel bepalen.

Expansie van het universum uitgedrukt in meebewegende coördinaten

Dit is een uniek kenmerk van 'meebewegende coördinaten' (oftewel grootheden) dat vaak over het hoofd wordt gezien: het universum expandeert dan niet (kent slechts groeiende eenheden). Per definitie blijft het universum in meebewegende coördinaten exact hetzelfde formaat houden. Tussen natuurkunde op verschillende kosmische tijdstippen is er geen verschil. Het universum was, is en zal altijd even groot blijven, uitgedrukt in meebewegende coördinaten (zie tabel1). Deze grootte is

Tabel 1: Afstand tot GN-z11 en tot de Hubble Horizon in meebewegende coördinaten

Tijdstip in constante [s_{2000}]:	7 miljard jaar geleden	Het jaar 2000	14 miljard jaar in de toekomst
In meebewegende coördinaten			
Afstand tot GN-z11	13 miljard lichtjaar	13 miljard lichtjaar	13 miljard lichtjaar
Hubble Horizon	14 miljard lichtjaar	14 miljard lichtjaar	14 miljard lichtjaar
Uitdijende eenheden			
Eenheid meter	[m] = 0,5 [m_{2000}]	[m] = [m_{2000}]	[m] = 2,0 [m_{2000}]
Eenheid seconde	[s] = 0,5 [s_{2000}]	[s] = [s_{2000}]	[s] = 2,0 [s_{2000}]

dan de Hubble Horizon: ongeveer 14 miljard (licht)jaar. Betekent dit dat het universum dan niet uitdijt? Niet in de meebewegende coördinaten oftewel grootheden, maar het universum breidt zich wel uit in meeteenheden. *Het principe van meebewegende coördinaten wil niets anders zeggen dan dat alleen de meeteenheden met de tijd (van toen naar nu) meegroeien.*
In de figuren 1 en 2 is de uitdijing van het U=universum getekend als grijze cirkels vanaf de Hubble Horizon tot nu in meetwaarden ten opzichte van de constante eenheid meter van het jaar 2000, gesymboliseerd door [m_{2000}] in het 3-sfeermodel met meebewegende coördinaten. Het rode lichttraject is getekend in eenheden die met de tijd meegroeien. Tabel 1 laat zien, in een uitdijend universum, hoe de afstand tot het sterrenstelsel GN-z11 en tot de Hubble Horizon hetzelfde blijft op drie tijdstippen in meebewegende coördinaten terwijl alle eenheden meegroeien.
De eenheid meter is morgen groter dan de eenheid meter vandaag is. De expansie van het universummodel in ruimte is dus eigenlijk een uitdijing van de eenheid meter. Maar in meettermen gesproken: je hebt toch ook altijd een onveranderlijke meeteenheid nodig als referentie (meter, lichtjaar, parsec enzovoort); dit is de [m_{2000}]. Deze moet van tijd tot tijd bijgesteld worden omdat de

uitdijing van de eenheden eeuwig door gaat. In het verre verleden (kosmostijd) van het universum was de eenheid meter een stuk kleiner en in de verre toekomst zal de eenheid meter een stuk groter zijn ten opzichte van de eenheid meter van nu.

Met andere woorden, we kunnen de evolutie van het universum op twee manieren zien:

I) *de uitdijing als een groeiende meetwaarde* (coördinaat of grootheid) in constante eenheden meter [m_{2000}] en seconde [s_{2000}], of

II) *geen uitdijing in 'meebewegende coördinaten'* (maar wel als groeiende eenheden).

Waarom is dit verschil in zienswijze zo belangrijk? Welnu, de stellingen van Noether moeten bepalen of we natuurkunde moeten toepassen in variabele grootheden met constante eenheden dan wel in meebewegende, gelijkblijvende grootheden en variabele eenheden.
Emmy Noether was een briljant wiskundige die, in de tijd van Einstein, voor David Hilbert werkte aan de universiteit van Göttingen. Ze ontwikkelde de basisregels die energie- en impulsbehoud garanderen. Omdat zij vrouw was, werd haar wetenschappelijk werk toen grotendeels genegeerd. Ook Albert Einstein, inmiddels beroemd, negeerde haar gefundeerde kritiek op zijn algemene relativiteitstheorie. Haar inmiddels algemeen aanvaarde stellingen gaan we gebruiken.

Noethers stellingen over energie- en impuls-behoud

Emmy Noether legde de relatie tussen wiskundige symmetrieën en behoudswetten in de natuurkunde. Haar stellingen beschrijven de eigenschappen van een referentiekader om energie- en impulsbehoud te garanderen:

A) Om impulsbehoud binnen een gekozen referentiekader te garanderen, moet de natuurkunde op alle locaties overal hetzelfde zijn (homogeen) en ook in alle richtingen hetzelfde zijn (isotroop), en

B) Om energiebehoud te garanderen, moeten alle natuurkundige wetten en haar constanten in de loop van de tijd hetzelfde blijven.

Het referentiekader (t,x,y,z) in ruimtetijd zoals Einstein gebruikte, bestaat uit tijd t en de drie coördinaatassen van ruimte x, y en z. Met andere woorden, een referentiekader voor ruimtetijd (t,x,y,z) moet homogeen en isotroop zijn in zowel ruimte als in tijd om energie- en impulsbehoud te garanderen. Kosmologen noemen deze belangrijke stellingen van Noether het 'perfecte kosmologisch principe'. Om energie- en impulsbehoud van een referentiekader in ruimtetijd (t,x,y,z) te garanderen, moeten alle natuurconstanten overal identiek zijn: identiek zijn in alle richtingen en *ook identiek in tijd zijn.* Zo moet de lichtsnelheid van 299.792.458 [m/s] overal hetzelfde zijn, hetzelfde in alle richtingen zijn en ook hetzelfde zijn in het hele kosmisch verleden. Ook in het verre verleden was de lichtsnelheid identiek aan de huidige. De conclusie moet zijn dat alleen de hierboven beschreven zienswijze II voldoet die ‘meebewegende coördinaten’ en groeiende eenheden vooronderstelt.
Dat houdt in dat de eenheid meter groeit in de kosmostijd en de coördinaten blijven gelijk. Omdat de snelheid van het licht wordt uitgedrukt in meter per seconde, moet de eenheid seconde ook meegroeien met de eenheid meter om het energiebehoud van het universum te garanderen; zie tabel 1. Het geldt alleen als je accepteert dat het universum zijn energie behoudt; dat kan niet anders, immers het universum dijt nergens in uit, het is per slot van rekening alles wat er is.

Energiebehoud, absorptielijnen en energie van fotonen

Niet alle kosmologen zijn van mening dat de energie van het universum behouden blijft. De volgende uitspraken komen uit een veelgeprezen boek over kosmologie[1]. In de paragraaf 'Waar is

[1] Hawley J. and Holcomb K. ‘Foundations of Modern Cosmology’ Oxford Press, 2005, chapter 14

de energie gebleven' staat: 'Het principe van behoud van energie, dat bekend is bij natuurkundigen, heeft slechts een lokale betekenis, het is bekend dat dit alleen geldt voor begrensde gebieden'. Verderop: 'we hoeven ons geen zorgen te maken over de verloren energie van de roodverschoven fotonen'. Die teksten zijn ons inziens onjuist, daarom verwerpen we beide stellingen. Natuurlijk kun je beweren dat energiebehoud niet geldt voor het gehele universum. Dat betekent echter ook dat de natuurwetten en natuurconstanten in de loop van de tijd kunnen veranderen en dat we uit astronomische waarnemingen geen conclusies kunnen trekken. Want je kunt geen conclusies trekken op basis van de natuurkunde en tegelijkertijd de algemene geldigheid van diezelfde natuurkunde afwijzen. Kosmologen kunnen strijdige zaken niet tegelijkertijd verdedigen.

Licht en energiebehoud

In het spectrum van het licht van sterren vind je absorptielijnen: kleurfrequenties die minder helder zijn dan naastliggende kleurfrequenties. Zichtbaar licht en andere elektromagnetische straling hebben twee soorten frequenties, die vaak met elkaar worden verward, de intensiteitsfrequentie 'f_{int}' (verzonden of ontvangen aantal fotonen per seconde) die interferentiepatronen veroorzaakt en de kleurfrequentie 'f_{kleur}' (bepaalt de energie van een enkel foton). De frequentie van de kleur is geen direct meetbare eigenschap van een foton. Wat wel meetbaar is, is zijn energie; de kleurfrequentie wordt dan berekend door deze energie (in joules) te delen door de Planck-constante 'h' (een getal beginnend met 0, gevolgd door 33 nullen en eindigend op 663), zie kader 2. De eiwitten in ons netvlies reageren op fotonenergie, kleur is slechts een vertaling door onze hersenen. Kleurfrequenties van fotonen zijn geen echte frequenties, maar zijn een andere maat voor hun energie. Volgens Einstein is het tempo van de lokale processen van een foton nul. Op een foton staat de tijd stil voor een meereizende ('propere') waarnemer. Met andere woorden, fotonen kunnen tijdens hun voortgang niet veranderen; fotonen verliezen dus geen energie op hun reis door vacuüm. De absorptielijnen in het spectrum van de straling van sterren lijken erg op de absorptielijnen van de elementen waterstof en helium op aarde; zie de paragraaf 'Roodverschuiving van het licht van een sterrenstelsel'. Als je natuurkunde niet consequent toepast, mag je ook niet de conclusie trekken dat sterren zoals de zon waterstof en helium bevatten. Of, als je natuurkunde wel serieus neemt, moet je je houden aan de basis van natuurkunde: de stellingen van Noether over energiebehoud en behoud van impuls.

Kader 2: Frequenties van straling

h	$= 6{,}63 \times 10^{-34}$	[J.s]	Planck-constante
E_{fot}	$= h.f_{kleur}$	[J]	energie van een foton
P	$= f_{int}.E_{fot}$	[W]	vermogen van een laser

Toegepast op een groene laserstraal, waarin f_{kleur} 577 [terahertz] en f_{int} 2,0 [petahertz] is:

E_{fot}	$= 3{,}82 \times 10^{-19}$	[J]	energie van een groene foton
P	$= 0{,}76$	[mW]	vermogen van groene laser

Energiebehoud van de fotonen van de kosmische achtergrondstraling

Het ‘oppervlak van laatste verstrooiing’, in het Engels 'Surface of Last Scattering' (SLS) was het moment in de evolutie van het universum waarin al het licht voor het laatst volledig werd verstrooid. In de periode tot het SLS, was het universum nog 'mistig' en pas daarna is het universum doorschijnend geworden en vormden zich sterren. De verstrooiing van de straling vóór de SLS werd veroorzaakt door de elektromagnetische velden van de kernen en elektronen die, bij de heersende zeer hoge temperatuur, nog ongebonden waren. Het laatste moment van verstrooiing wordt op aarde waargenomen als de kosmische achtergrondstraling (in het Engels: Cosmic Background Radiation, CBR) die uit alle richtingen komt: in alle richtingen kijk je immers naar hetzelfde verre verleden. In het vigerende FLRW-model zou de golflengte van de fotonen (lichtdeeltjes) van de SLS, ontvangen als de CBR op aarde, 'uitgerekt' (roodverschuiving) zijn door de uitdijing van het universum.
Om een mengsel van waterstof en helium 'mistig' te maken, hebben we ter plaatse een temperatuur van 2978 kelvin nodig. Het CBR-spectrum dat we op aarde waarnemen, is roodverschoven en heeft

nu een temperatuur van slechts 2,725 kelvin. Alle fotonen van het CBR-spectrum hebben een golflengte die 2978/2,725 = 1093 keer langer is geworden. Een langere golflengte betekent een lagere kleurfrequentie (wet van Planck) oftewel minder energie per foton; zie kader 2. Met andere woorden, deze hier opgevangen fotonen zouden meer dan 99,9% van hun energie hebben verloren op weg van de bron (het SLS) naar hun eindpunt: als CBR waargenomen op aarde, volgens de *huidige* kosmologie. Waar is hun energie gebleven? Geloof je de verklaring 'we hoeven ons geen zorgen te maken over de verloren energie van de roodverschoven fotonen' in het eerdergenoemde boek? Afkoeling wegens de uitdijing blijkt niet rond te rekenen. Accepteer je dat energie gewoon verdwijnt?
Wij hebben inmiddels een alternatieve, betere en eenvoudige verklaring: de energie-eenheid joule bij de SLS was 1093 keer kleiner dan onze huidige eenheid joule. De veel kleinere joule van het verleden gaat gepaard met de toen veel kleinere eenheid meter en de logisch daaruit volgende kleinere eenheden seconde en kilogram in het principe van de meebewegende coördinaten van Robertson en Walker. De fotonenergie blijft onderweg in vacuüm gelijk. De ontvangen fotonen, gemeten met onze eenheden van nu, moeten we dus eerst corrigeren met de eenheden van toen om de energie van het toen uitgezonden foton te bepalen. Het komt hierop neer: energiebehoud dwingt ons te denken in termen van uitdijende eenheden joule, meter, seconde en kilogram, in plaats van in grotere coördinaten: *De energie(grootheid van het universum wordt behouden in meebewegende coördinaten, terwijl de basiseenheden groter worden: dat is onze interpretatie van de uitdijing van het universum in ruimtetijd.*

Een uitdijingsmodel van het universum op basis van energiebehoud

Een model van het universum dat gebaseerd is op het energiebehoud van Noether, heeft constanten die zoals hun naam zegt: constant zijn. Alle natuurconstanten zijn grootheden of coördinaten of meetwaarden, zoals de lichtsnelheid c, de Newtonconstante 'G' (gravitatiewet van Newton) en de Hubble-constante 'H', deze zijn dan per definitie onveranderlijk (constant) in ruimte en tijd. Dit heeft verstrekkende gevolgen. De eenheid meter is de afstand die door licht in vacuüm wordt afgelegd in 1/c seconden, volgens de SI-organisatie. Wanneer de eenheid meter in de loop van de kosmostijd verandert, moet ook de eenheid seconde meeveranderen om een onveranderlijke lichtsnelheid in de loop van de kosmostijd te verzekeren. Op deze manier blijft de lichtsnelheid altijd precies 299.792.458 [m/s], ook al veranderen de eenheden meter en seconde in de loop van de tijd.
De Newtonconstante 'G' wordt gemeten in $[m^3s^{-2}kg^{-1}]$. Wanneer de eenheden meter en seconde veranderen in de loop van de kosmostijd, moet ook de eenheid kilogram meeveranderen, $E = m.c^2$, waarin E de energie in joules is en m de massa in kilogram, dus verandert de joule $[kg.m^2.s^{-2}]$ op dezelfde manier mee als de eenheid seconde, meter en kilogram.

Tabel 2: Totale energie en massa van het Universum

In constante eenheden [s_{2000}]	7 miljard jaar geleden	het jaar 2000	14 miljard jaar in de toekomst
In meebewegende coördinaten			
Energie van het Universum	$1{,}60 \times 10^{70}$ [J]	$1{,}60 \times 10^{70}$ [J]	$1{,}60 \times 10^{70}$ [J]
Massa van het Universum	$1{,}78 \times 10^{53}$ [kg]	$1{,}78 \times 10^{53}$ [kg]	$1{,}78 \times 10^{53}$ [kg]
Uitdijende eenheden			
Eenheid joule	$[J] = 0{,}5[J_{2000}]$	$[J] = [J_{2000}]$	$[J] = 2{,}0[J_{2000}]$
Eenheid kilogram	$[kg] = 0{,}5[kg_{2000}]$	$[kg] = [kg_{2000}]$	$[kg] = 2{,}0[kg_{2000}]$

Zie je hoe alle stukjes van de puzzel in elkaar passen? Nu komen Noethers stellingen en die van het perfecte kosmologisch principe wél overeen met de waarnemingen van de CBR. In tabel 2 zie je de

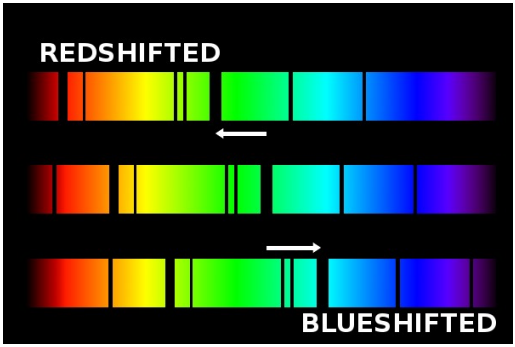
totale hoeveelheid energie in het universum in joules (16 gevolgd door 69 nullen), zie de appendix voor de formule. De energie kan weer worden omgerekend naar massa in kilogram; Einstein had het daarom ook over massa-energie, uitgedrukt in joules of in kilogrammen.

De veranderende eenheid seconde in de loop van de kosmostijd

In ons EMRW-model van het universum, waarin energie wordt behouden, waren zowel de eenheid meter als de seconde in het verre verleden een stuk kleiner. Dit is onze verbetering of aanpassing van de huidige Robertson en Walker-oplossing (R&W) aan Einsteins algemene relativiteitstheorie. Deze theorie van Einstein biedt de basisformules (veldvergelijkingen) om de sterkte van het zwaartekrachtveld onder specifieke omstandigheden op te lossen. R&W hebben deze vergelijkingen voor het universum opgelost. In de huidige R&W-oplossing werd en wordt nog steeds alleen ruimte (niet tijd) geschaald met een factor: a(t). De schaalfactor a(t) betekent dat alles vroeger kleiner was met een factor die afhangt van tijd t. Bij de SLS is a(t) bijvoorbeeld ongeveer 0,001, of om precies te zijn 1/1093; zie ook kader 1. Nu is a(t) = 1.Verwar deze schaalfactor a(t) overigens niet met het bekende symbool voor versnelling 'a'.
In tegenstelling tot de veel gebruikte R&W-oplossing, worden in *onze verbeterde* R&W-oplossing (nu gerepareerd met behulp van de stellingen van Noether) *niet alleen de eenheid meter maar ook de eenheid seconde geschaald* met dezelfde factor om een onveranderlijke lichtsnelheid te garanderen. De coördinaten blijven gelijk: het principe van ‘meebewegende coördinaten' in ruimte*tijd*.
We moeten dus begrijpen dat een meting via telescopen, dus op dit moment met de huidige eenheden meter en seconde, niet de natuurkunde weergeeft op het moment in de kosmostijd waarop het licht werd uitgezonden. Om de natuurkunde in de kosmostijd te begrijpen (Einstein noemde dat de lokale of 'propere' natuurkunde, oftewel natuurkunde gebaseerd op metingen ter plaatse en onmiddellijk), moeten we onze waarnemingen op aarde corrigeren met de schaalfactor a(t) om de lokale natuurkunde van toen te begrijpen. Deze schaalfactor a(t) = 1 / (z + 1) van de basis-SI-eenheden (seconde, meter, kilogram en coulomb) hangt rechtstreeks samen met de roodverschuiving z van het licht van het geobserveerde sterrenstelsel. Laten we daarom eerst kijken naar het meten van roodverschuiving.

Roodverschuiving van het licht van een sterrenstelsel

Licht, zoals we dat waarnemen op aarde, afkomstig van sterren in sterrenstelsels buiten onze lokale groep sterrenstelsels, is roodverschoven. Het zichtbare witte licht dat van sterren komt, wordt op aarde als rood of zelfs als infrarood waargenomen. Het hele elektromagnetisch sterspectrum is verschoven: van wat we weten dat de sterren werkelijk uitzenden naar wat we daarvan op aarde meten. Als het ontvangen licht hetzelfde spectrum heeft als het spectrum van de zon, heeft dat licht per definitie een roodverschuiving nul, genoteerd als: z = 0. Een roodverschuiving ten opzichte van de zon wordt ook 'heliocentrische' roodverschuiving genoemd. Dit is wat satellieten zoals de Hubble Space Telescope (HST) *nauwkeurig* kunnen meten. Deze roodverschuiving is de meting van de verschuiving in de absorptielijnen van waterstof, helium en enkele andere elementen.
In figuur 3 staat het zichtbare spectrum van de zon op de middelste rij, met sterk overdreven absorptielijnen (de verticale

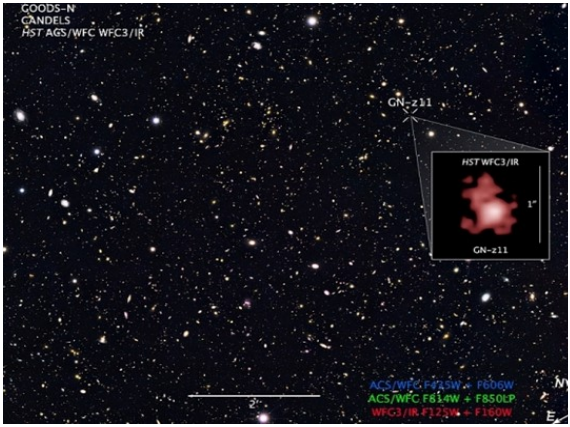


Figuur 3: Roodverschuiving en blauwverschuiving

strepen) om het duidelijk te maken. De absorptielijnen van het bovenste spectrum zijn aanzienlijk roodverschoven getekend, ongeveer 15% oftewel z = 0,15. Al hun kleurfrequenties zijn verlaagd met een factor 1,15 ten opzichte van het zonnespectrum. NB: het verschoven sterrenlicht zelf is hier niet verschoven afgebeeld.
Waarom is die factor gelijk aan z + 1 (1,15) en niet alleen z (0,15)? Dat komt door het verschil tussen een verschuiving en een vermenigvuldigingsfactor. Dit is net als een procentuele verhoging van spaargeld en de factor die je moet gebruiken op een rekenmachine om je nieuwe spaargeld te berekenen. Een stijging van 3% resulteert bijvoorbeeld in de factor 1,03. Evenzo resulteert een roodverschuiving van z = 0,15 (= 15%) in de factor 1,15. Roodverschuiving is een percentage, de factor zelf noemen we kosmische inflatie; zie ook de paragraaf 'Oorzaken van roodverschuiving'. Roodverschuiving of blauwverschuiving (negatieve roodverschuiving) is een eenheidsloze eigenschap van een sterrenstelsel-waarneming. Vaak wordt roodverschuiving uitgedrukt als een snelheid, maar dat is alleen waar als snelheid de *enige* oorzaak van roodverschuiving is, maar dat is het niet. Andere oorzaken van roodverschuiving zijn zwaartekracht en afstand; zie de paragraaf 'Oorzaken van roodverschuiving'. Laten we eerst eens kijken naar de roodverschuiving van echte sterrenstelsels.

Roodverschuiving van het licht van het sterrenstelsel GN-z11

In de tijd van Hubble werden vele sterrenstelsels bestudeerd en er bleek een relatie tussen hun roodverschuiving z en afstand 'D' te zijn. Deze leek lineair. Het stralingsspectrum van een ster is niet alleen het zichtbare licht, maar het hele spectrum: van radiogolven tot gammastralen, volgens de wet van Planck. Met andere woorden, zelfs uitgezonden onzichtbaar ultraviolet licht kan als wit licht worden waargenomen op aarde.
Figuur 4 toont het zeer verre sterrenstelsel GN-z11 zoals waargenomen door de Wide Field Camera nummer 3 (WFC3) van de HST die infrarood licht meet (de roodverschuiving van GN-z11 is 11,1, vandaar de naam).
Onze ogen kunnen geen infrarood licht zien, daarom geeft de infraroodcamera (IR-camera) kunstmatig de lage infraroodfrequenties weer als rood licht, terwijl de hoge IR kleurfrequenties, die lang geleden als ultraviolet door GN-z11 werden uitgezonden, worden weergegeven als wit licht. De roodverschuivingsfactor (z + 1) is zeer groot; voor GN-z11 is deze factor 12,1. De eerder genoemde schaalfactor a(t) is gelijk aan 1 / (z + 1), dus voor GN-z11 is dit 0,0826. Het blijkt dat de roodverschuiving op grotere afstand veel sterker dan lineair toeneemt over afstand.



Figuur 4: Roodverschuiving van sterrenstelsel GN-z11

Oorzaken van roodverschuiving

Er zijn tot dusver drie oorzaken van roodverschuiving in de natuurkunde bekend: snelheid (dopplereffect), gravitatie (algemene relativiteitstheorie) en afstand. Afstand en dus ook tijd is een relatief onbekende *oorzaak* van roodverschuiving. Dit tijdseffect speelt sterker en wordt dominant bij zeer roodverschoven stelsels. Dit effect was nog niet bekend op het moment dat Hubble zijn wet voorstelde, daarover verderop meer. Kosmologen definiëren een kort tijdperk dat het (kosmisch)

'inflatietijdperk' wordt genoemd, namelijk waarin de uitdijing van het universum extreem snel verliep.
Dat tijdperk is zeer lang geleden en is onzichtbaar voor waarnemers, aangezien dit nog vóór het 'Surface of Last Scattering' (SLS) ligt, toen het universum nog niet doorschijnend was.
De roodverschuiving van het SLS is ongeveer 1092, dus we mogen aannemen dat het inflatietijdperk een nog veel grotere roodverschuiving heeft, gezien de relatie tussen afstand (en dus tijd) en roodverschuiving. Het (kosmisch) inflatietijdperk moet dus een extreem grote roodverschuiving hebben als het zichtbaar zou zijn. Kosmologen concluderen, op basis van het FLRW-model, dat de uitdijing in het tijdperk vóór de SLS extreem snel moet zijn verlopen.
Onze verklaring voor de grote roodverschuiving is dat de eenheid seconde extreem veel kleiner moet zijn geweest dan onze huidige eenheid: 10^{50} (1 met 50 nullen) keer zo klein. Immers, bij het bouwen van een model op basis van energiebehoud hebben we gezien dat de eenheid seconde toen een schaalfactor a(t) kleiner was dan de eenheid seconde nu. Met andere woorden, we zien dat de gebeurtenissen op GN-z11 12,1 keer sneller lijken te gaan, dan dat ze toen echt plaatsvonden. Het volgt uit *onze* R&W-oplossing, verbeterd met de stellingen van Noether. Dit is wat wij 'kosmische inflatie' noemen: gebeurtenissen zoals rotatie en stervorming gaan, gemeten via telescopen, *schijnbaar* sneller dan dat ze werkelijk gebeurden, dat wil zeggen sneller dan je daar en toen zou meten (bedenk: goede natuurkundige metingen zijn ter plaatse en onmiddellijk: ook wel propere metingen genoemd); zie de volgende paragrafen.
In ons EMRW-model is het (kosmisch) ‘inflatietijdperk' dan ook niet alleen beperkt tot een specifiek tijdperk (zoals het FLRW-model stelt), maar *treedt het op in het hele kosmisch verleden en bedraagt roodverschuiving* $z + 1$. De kosmische inflatie $(z + 1)$ neemt naar het kosmisch verleden sterk toe, blijkt uit GN-z11. Volgens dit model verlopen processen in alle verre sterrenstelsels met de factor roodverschuiving plus één sneller dan in sterrenstelsels dichtbij, dus in onze lokale groep. We kunnen tegenwoordig goed het tempo waarnemen waarmee sterren lijken te ontstaan. Aangezien roodverschuiving en 'kosmische inflatie' gekoppeld zijn aan afstand, moet de conclusie dus zijn dat we ook stervorming met een factor roodverschuiving plus één *sneller* zien verlopen bij *alle* sterrenstelsels *buiten* onze lokale groep.
Laten we dit eens nader bekijken. Dit is wat NASA/ESA rapporteerden bij 'dwergsterrenstelsels' rond roodverschuiving 9 ($z \approx 9$): 'De bevindingen betekenen ook dat deze dwergstelsels in een razend tempo sterren produceerden, *ongeveer* ***10 keer sneller*** *dan nu gebeurt in nabijgelegen sterrenstelsels*'[2]. Dit is een duidelijk bewijs dat de kosmische inflatie van $z + 1$ niet zomaar een tijdperk is, maar het hele kosmisch verleden van het universum omvat. Er zijn ook nog de twee andere oorzaken van roodverschuiving: snelheid (dopplereffect) en zwaartekracht. Het effect van gravitatie op de roodverschuiving van sterrenstelsels blijkt relatief zo klein, dat we dit effect kunnen negeren. Het effect van snelheid (gemeten aan de hand van het dopplereffect) wordt voornamelijk opgemerkt binnen onze lokale groep van sterrenstelsels. Dit wordt behandeld in de volgende paragrafen.

Originele wet van Hubble en donkere energie

In feite vonden Hubble en Humason alleen een relatie tussen *afstand* en roodverschuiving. In 1931 publiceerden ze over de relatie tussen *snelheid* en roodverschuiving, *aannemende,* zoals ze zelf schreven, dat snelheid de enige oorzaak van roodverschuiving is. Deze aanname heeft echter als consequentie dat de vigerende wet van Hubble ook donkere energie vereist. Laat ons dit uitleggen. Als een sterrenstelsel als GN-z11 zich inderdaad met 92% van de snelheid van het licht van ons zou verwijderen, zoals het relativistische dopplereffect voorspelt, dan staat het morgen op een nog grotere afstand, wat volgens de Hubble-wet een weer hogere snelheid betekent. Dus de snelheid van GN-z11 neemt dan steeds verder toe.

[2] www.nasa.gov/mission_pages/hubble/hst_young_galaxies_200604_prt.htm

Versnelling vereist kracht. Die kracht werd door Einstein uitgedrukt in de 'kosmologische constante', tegenwoordig 'donkere energie' genoemd. De *veronderstelling* dat roodverschuiving alleen door snelheid wordt veroorzaakt, heeft inmiddels geleid tot de algemeen verspreide theorie van donkere energie. Ondanks enorme inspanningen om die te vinden is echter nog nooit een spoor ervan aangetroffen. Op basis van het voorgaande weten we nu dat roodverschuiving ook samenhangt met afstand en tijd: het is de kosmische inflatie. Dus: *we hebben geen donkere energie nodig*.

De wet van Hubble moet op de schop

De laatste nagel aan de doodskist van de oorspronkelijke wet van Hubble is de waarneming van stervorming in verre 'dwergstelsels'; zie de eerdere paragraaf 'Oorzaken van roodverschuiving'. Als die verre sterrenstelsels van ons zouden wegsnellen, zou hun waargenomen stervorming 10 keer langzamer moeten verlopen. Dat is vergelijkbaar met een snelle trein die jou passeert op een station. Stel dat een hogesnelheidstrein je op een station passeert. De machinist (een propere waarnemer) rijdt met de trein 600 [km/h], dat is de halve geluidssnelheid van 1200 [km/h]. Om de mensen op het station te waarschuwen, gebruikt de machinist zijn toeter van 6.000 [Hz], met een reeks stoten: bijvoorbeeld elke seconde gedurende $1/10^{e}$ seconde. Dat signaal hoor je op het station als 12.000 [Hz] elke halve seconde gedurende 1 / 20e van een seconde zolang de trein nadert. Als de trein voorbij is, hoor je hetzelfde signaal als slechts 3.000 [Hz] elke twee seconden gedurende $1/5^{e}$ seconde. *Objecten die zich van ons verwijderen worden waargenomen als in slow motion, volgens het dopplereffect.*
De Hubble-wet die gebaseerd is op alleen het dopplereffect zou hebben moeten resulteren in slow motion stervorming met een factor 10, terwijl kosmische inflatie het tegenovergestelde voorspelt: juist *de waargenomen snellere stervorming* met een factor 10. Dit verschilt een factor 100. Kosmische inflatie als oorzaak van de roodverschuiving van verre sterrenstelsels past dus duidelijk beter bij de NASA/ESA-waarnemingen dan de gebruikelijke Hubble-wet. (Het maakt daarmee ook het huidige FLRW-model verouderd, zie de volgende paragraaf).
Ten slotte: de Yonsei-universiteit in Zuid-Korea concludeerde onlangs dat de aanname van donkere energie onjuist is op basis van intensiteitswaarnemingen van supernovae[3].
Resumerend: de Hubble-wet is achterhaald.

Ook het vigerende FLRW-model is achterhaald

Merk op dat de Hubble-wet deel uitmaakt van het huidige kosmologisch model, het FLRW-model (Friedmann, Lemaître, Robertson en Walker), ook wel het Lambda-CDM-model genoemd (Lambda is de donkere energie en CDM is Cold Dark Matter). Lemaître plaatste de Hubble-wet in dit model. Daarmee past Lemaîtres bijdrage niet in een juist model van het universum. Friedmann berekende de dichtheid van het universum in de vorm van een normale bol in een Euclidische ruimte.
Omdat het kosmologisch principe vereist dat alle locaties gelijk zijn, moet het universum dan oneindig groot zijn. Verderop zullen we zien dat het universum niet oneindig groot is en daarmee past ook de bijdrage van Friedmann niet in een goed model van het universum. We vervangen deze twee fysici nu door Einstein en Minkowski, terwijl we vasthouden aan Robertson en Walker. Een laatste probleem met het huidige model is dat dit niet ondersteund wordt door het aantal waargenomen sterrenstelsels in klassen van oplopende roodverschuiving (zie verderop). Het FLRW-model is echt achterhaald. FLRW wordt EMRW: Einstein, Minkowski, Robertson en Walker.

[3] https://devcms.yonsei.ac.kr/galaxy_en/galaxy01/research.do?mode=view&articleNo=78249&article.offset=0&articleLimit=10

Onze verbeterde Hubble-wet

Hubble en Humason konden in 1931 onmogelijk weten dat hun gegevens over roodverschuivingen van sterrenstelsels niet alleen door snelheid werden beïnvloed, maar ook door afstand en tijd. Zoals we eerder zagen wordt de *groei* van de roodverschuiving steeds sterker op grote afstand en tijd.

Onze verbeterde Hubble-wet corrigeert hun oorspronkelijke gegevens voor de andere belangrijke oorzaak van roodverschuiving: kosmische inflatie. De exacte formule staat in kader 3. Het is op zich verbazingwekkend dat Hubble en Humason (onbewust) de eersten waren die het effect van kosmische inflatie op de roodverschuiving z zagen; zie in kader 3 de tweede formule op basis van hun gegevens (z ≈…).

Kader 3: Verbeterde Hubble-wet

$z = v_0 / c + H.D / (c – H.D)$
$z \approx v_0 / c + H.D / c$ $\quad D << c / H$

$c = 299.792$ [km/s] lichtsnelheid
$H \approx 70$ [km/s/Mpc] Hubble-constante

Bijvoorbeeld: Andromeda staat op de afstand 'D' van 0,778 [Mpc] ten opzichte van de aarde en heeft een roodverschuiving 'z' van –0,001. We kunnen dus nu de snelheid berekenen:

$v_0 = –0,001 \times 299.792 – 70 \times 0,778$
$v_0 = –355$ [km/s]

Er zijn nu dus twee termen in onze verbeterde Hubble-wet: één voor het niet-relativistische dopplereffect van lokale snelheid 'v_0' op roodverschuiving $z = v_0 / c$ en een tweede voor het kosmisch inflatie-effect van afstand 'D' op roodverschuiving z, namelijk $z = H.D / (c – H.D)$. In de 2e term krijgt toenemende afstand een steeds grotere impact op roodverschuiving. Op afstand D = 0 is z = 0. Op afstand D = c / H (de Hubble Horizon) is z = oneindig. Daar is de schaalfactor van de eenheden a(t) = 0.

Halverwege, bij D = c / 2H is de roodverschuiving dan 1. Dit blijkt precies te kloppen met aantallen sterrenstelsels per afstandsklasse (zie verderop). In kader 3 berekenen we de snelheid waarmee het sterrenstelsel Andromeda ons nadert (negatieve roodverschuiving, ook wel 'blauwverschuiving' genoemd). Deze nieuwe snelheid is hoger dan de huidige schattingen die nog gebaseerd zijn op de aanname dat snelheid de *enige* oorzaak van roodverschuiving is ($v_0 = –301$ km/s).

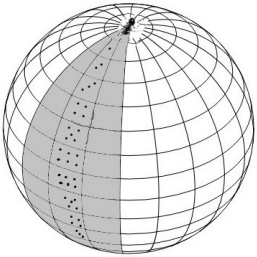
Hiermee hebben we nu ook een verbeterde afstandsladder: $D = \{z / (z + 1)\}.c / H$ gecreëerd voor verre stelsels. In de volgende paragrafen zullen we zien dat deze verbeterde Hubble-wet, in combinatie met de uitdijing van eenheden op basis van Noether's stellingen en toepassing van echte ruimtetijd, een elegante harmonie vormen, ondersteund door waarnemingen. Onze verbeterde Hubble-wet biedt een geheel nieuwe visie op het universum. Het sterrenstelsel GN-z11 bijvoorbeeld verwijdert zich niet met bijna de snelheid van het licht van ons vandaan, maar staat stil of vrijwel stil. Dit betekent dat de zoektocht naar donkere energie nooit wat zal opleveren. Ons EMRW-model, gebaseerd op de verbeterde Hubble-wet, is al compleet zonder donkere energie. De werkelijkheid bestaat uit Einsteins universummodel in de vorm van een 3-sfeer, maar dan vernieuwd in de echte ruimtetijd.

Einsteins eerste universummodel

Einstein introduceerde zijn sferisch model van het universum in 1917[4]. Dit model wordt een 3-sfeer of gloom genoemd; wiskundig is dit het driedimensionale 3D 'hyperoppervlak' of de bolschil van een vierdimensionale 4D-hyperbol die een straal R_4 heeft in de 4D-euclidische ruimte. Het driedimensionale hyperoppervlak of de 3-sfeer heeft dus op zich al een volume ($V = 2\pi^2 R_4^3$) en is dus de ruimte waarin wij leven. Dit bolschilmodel heeft op alle locaties en in alle richtingen dezelfde eigenschappen, dus het vervult in ruimtetermen het 'kosmologisch principe'. Dit kosmologisch principe is een verkorte versie van het 'perfecte kosmologisch principe'; het model betreft immers alleen ruimte, niet tijd. Een 3-sfeer is in dit opzicht een veel beter model van het universum dan een normale bol ($V = 4\pi R^3/3$) die niet aan het kosmologische principe voldoet.

[4] Einstein A., 'The principle of Relativity, Cosmological consideration' en 'Mijn Theorie', 1917

Probeer overigens niet om je een hyperbol voor te stellen; wij als mensen kunnen ons geen beeld vormen van een vierdimensionaal object. Een aardig hulpmiddel is denken in een dimensie minder dan wij als 3D-mensen in onze 3D-wereld: wij kruipen dan als 2D-wezens, dus als platte mieren zonder hoogte, door of in een platte '2D-ruimte': een 2D-oppervlak dat bovendien zelf gekromd is in een derde dimensie, dus als het oppervlak van een 3D-bol. Zie figuur 5. De platte mieren kunnen zich die derde dimensie niet voorstellen, maar wel, als ze intelligent zouden zijn, beredeneren. Hun wereld is beperkt maar onbegrensd.



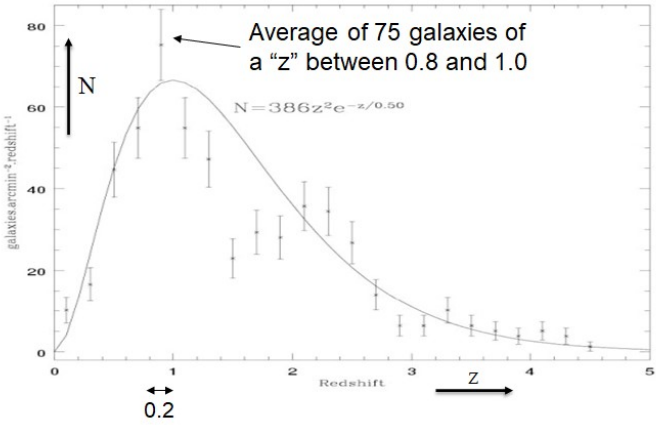
Figuur 5

Enfin, de beste manier om je een echte 3-sfeer voor te stellen is door na te denken over mogelijke trajecten. In welke ruimtelijke richting je ook gaat, je komt uiteindelijk altijd terug op dezelfde plek; rechtuit bewegen in het universum gaat in grote cirkels of 'geodeten' van vele miljarden lichtjaren. Het is als een normaal (x,y,z) referentiekader waarin de positieve x-as in een zeer grote cirkel weer op de negatieve x-as terechtkomt. Hetzelfde geldt voor de y-as en z-as.

De hamvraag is hier: heeft het universum dus een beperkt ruimtevolume of is het oneindig groot? Als het universum oneindig groot zou zijn, zouden we, hoe verder we kijken, in ieder opvolgend afstandsgebiedje, steeds meer sterrenstelsels moeten zien. Maar als het universum een beperkte 3-sfeer is, zoals Einstein betoogde, dan zien we aanvankelijk eveneens steeds meer sterrenstelsels, echter tot een bepaalde afstand. Voorbij dat punt gaan we steeds minder sterrenstelsels zien per afstandsklasse (voor de experts: een sinus-kwadraatfunctie).

Een en ander wordt geïllustreerd aan de hand van figuur 5. De ‘mieren-sterrenstelsels’ liggen homogeen verdeeld in de platte 2D-ruimte. Ze zijn aangegeven door zwarte stippen. De platte 2D-mier ziet, binnen zijn platte kijkhoek, in opvolgende afstandsgebiedjes, oftewel tussen opvolgende breedtegraden, aanvankelijk steeds meer en daarna steeds minder stippen. Dit is onafhankelijk van zijn plek in zijn 2D-universum.

Een telling van het aantal echte sterrenstelsels per afstandsklasse kan dus bepalen of het echte universum een 3-sfeer is dan wel oneindig groot is. Het is gebaseerd op het kosmologisch principe: de aanname dat binnen een homogeen model van het universum een gelijk aantal sterrenstelsels in een identiek volume wordt gevonden. Met andere woorden, als we meer en meer sterrenstelsels zien naarmate we verder kijken (dus hoe hoger de roodverschuiving z en hoe verder terug in de tijd), dan is het universum Euclidisch (recht of plat) en oneindig. Als er een piek in het aantal sterrenstelsels zit bij een bepaalde roodverschuiving, dan is het universum inderdaad een 3-sfeer zoals Einstein aanvankelijk voorstelde. Figuur 6 toont het aantal sterrenstelsels per vierkante boogminuut, uitgezet



Figuur 6: Aantal sterrenstelsels tegenover klassen van z

tegen klassen van 0,2 roodverschuiving z; de grafiek is van de Universiteit van Amsterdam (UvA) in 2007. Hij toont duidelijk een piek in het aantal sterrenstelsels (N = 75 gemiddeld) rond een roodverschuivingsklasse tussen 0,8 en 1,0. De formule van de UvA (N =… in figuur 6) piekt precies bij de roodverschuiving van 1,0. Dit wijst er op dat *het universum eerder een 3-sfeer is dan een Euclidische (rechte of platte) oneindige ruimte.*
Bovendien, in de verbeterde Hubble-wet hebben we al gezien dat halverwege de Hubble Horizon de roodverschuiving gelijk is aan 1. Dit is precies de evenaar in figuur 5 waar de mier de meeste 'mierenstelsels' ziet. Aan de rechterkant van figuur 6 loopt deze niet terug naar 0 wegens de steeds sterker toenemende roodverschuiving: de kosmische inflatie is immers oneindig op de Hubble Horizon-afstand. Deze tellingen worden beïnvloed doordat sterrenstelsels in de loop van de tijd fuseren. Als het universum oneindig groot zou zijn, zou het aantal zelfs veel groter zijn boven een roodverschuiving van 1,0.
In de grafiek zijn vier sub-pieken te herkennen; massale en gelijktijdige fusies van sterrenstelsels in de tijd zouden een redelijke verklaring kunnen zijn voor die pieken. Bovendien werd begin 2020 in 'Nature Astronomy' volume 4 *bewijs voor een sferisch universum geleverd*.

Einstein had gelijk, het universum is een 3-sfeer

Blijft de vraag waarom Einstein zijn prachtige model heeft laten varen. Hij trok zijn model terug omdat hij, na de publicatie van Hubble in 1931, plotseling besefte dat snelheid op zichzelf de rol van zijn kosmologische constante (nu donkere energie genoemd) kon overnemen. Dit is te vergelijken met een kogel die je de lucht in schiet. Als die kogel met voldoende snelheid omhoog wordt geschoten, valt hij nooit meer terug. De snelheid waarmee hij ontsnapt aan de zwaartekracht van de aarde wordt de 'ontsnappingssnelheid' genoemd. Deze snelheid bedraagt 11,190 [km/s]. Naarmate de afstand groeit neemt de snelheid van de kogel af, vertraagd door afnemende zwaartekracht, maar zijn snelheid wordt nooit nul.
Evenzo, volgens het EMRW-model, neemt de uitdijingssnelheid van het universum - ten opzichte van de constante referentie eenheden van het jaar 2000 - in de loop van de tijd steeds langzamer af, maar stopt nooit. Om dat beter te begrijpen, moeten we ons wat verdiepen in de ruimtetijd volgens Minkowski. Hermann Minkowski was Einsteins professor in de wiskunde, die weliswaar Einstein een luie student noemde, maar hij was ook de eerste professor die Einsteins relativiteitstheorie ondersteunde. In feite legde zijn verbetering van Einsteins Speciale Relativiteitstheorie de basis voor Einsteins latere Algemene Relativiteitstheorie.

Minkowski en het begrip ruimtetijd

Wat is ruimtetijd? Kunnen we onze tijd daarin zodanig definiëren dat deze ook wiskundig loodrecht staat op de drie assen van de ruimte? Als we hierin slagen, hebben we Minkowski's droom waargemaakt. Om dat mogelijk te maken, gaan we de 4D-straal van de 3-sfeer berekenen op het moment ‘nu’, zoals in de doorsnede is getekend in figuur 1. De afstand tussen 'aarde nu' en het verste punt in het universum ‘nu’, is de lengte van de halve cirkel van π radialen maal de straal R_4 en is gelijk aan $\pi.R_4$ meter. Dit is gelijk aan de afgelegde weg = snelheid van het licht c maal het tijdsinterval ‘1 / H’ en is gelijk aan ‘c / H’ meter. Dus $\pi.R_4 = c / H$ of $R_4 = c / (\pi.H)$ meter.
Op een tijdstip in het verleden wordt de variabele r_4 gebruikt. Hierbij hoort een kleinere concentrische bolschil in de 3-sfeer uitgedrukt als kleinere cirkel in figuur 1. Deze straal gaan we daarvan bepalen met r_4 een factor λ kleiner dan R_4. Dus met $r_4 = \lambda.R_4$, met $\lambda = H.t$ (met de Hubble-constante in 1/sec) en $R_4 = c / (\pi.H)$ geeft dit $r_4 = c.t / \pi$ [m_{2000}]. Hier is t de tijd in [s_{2000}] en c de lichtsnelheid in [m/s]. Van belang is op te merken dat de variabele straal r_4 steeds evenredig is met de tijd t in [s_{2000}]. De 4D-straal van het universum en de tijd zijn dus direct aan elkaar gekoppeld; ze vormen nu die eenheid die Minkowski zocht.

Hiermee maakt de tijd deel uit van het 3-sfeermodel en is het omgevormd tot een echt 4-dimensionaal ruimtetijdmodel waarbij *een klein tijdverschil 'dt' loodrecht staat op de drie lokale ruimteassen dx, dy, en dz* in een klein Euclidisch gedeelte (dt, dx, dy en dz) van het 3-sfeermodel. Missie geslaagd! In ons boek 'Repairing Robertson-Walker's Solution'[4)] wordt het wiskundig bewijs geleverd.

Geen inflatietijdperk, maar kosmische inflatie over het hele verleden

Blijft de vraag over hoe het universum als 3-sfeer-ruimtetijd precies uitdijt. Zoals eerder vermeld, breidt het universum zich niet uit in meebewegende coördinaten. De eenheden seconde en meter dijen in de loop van de tijd wel (steeds langzamer) uit ten opzichte van de constante eenheden [m_{2000}] en [s_{2000}]. Vergelijk dit met Einsteins afnemende zwaartekracht. Omgekeerd lijkt, door extrapolatie naar het verre verleden van het universum (tot vóór de SLS), dat de uitdijing toen extreem groot moet zijn geweest: dat betekent extreem grote roodverschuivingen vóór de SLS.
In ons EMRW-model is dit slechts een nog verdere extrapolatie vanaf de waargenomen roodverschuiving van dwergstelsels en GN-z11 en de berekende 1092 bij de SLS op basis van de temperatuur, want met de verbeterde Hubble-wet versnelt de toenemende roodverschuiving naarmate we verder terugkijken. Kosmische inflatie is geen geëxtrapoleerd tijdperk in het niet-waarneembare verleden van het universum, maar een, grotendeels werkelijk waargenomen, eigenschap van het hele verleden. Je zou ook kunnen zeggen dat de klok, ten opzichte van [s_{2000}] vroeger veel sneller en na verloop van tijd steeds langzamer is gaan tikken. Aangezien alles wat er gebeurt gerelateerd is aan de klok, werd en wordt deze vertraging door niemand opgemerkt, want de eenheden groeien mee. We kunnen niet in de toekomst kijken, maar wel in het verleden; kosmische inflatie is dus (alleen) te bewijzen door gebeurtenissen uit het verre verleden te observeren.

Donkere materie wordt vervangen door kromming van het universum

In het EMRW-model is ook donkere materie niet meer nodig. Het bestaan van donkere materie wordt vaak genoemd als verklaring voor de bovenmatig snelle baansnelheden van de buitenste sterren van grote sterrenstelsels, zoals onze Melkweg. In het 'vlakke universum' van het FLRW-model, rekenend met de gravitatiewetten van Newton, zouden die buitenste sterren uit hun baan moeten vliegen. Zelfs wanneer je het zichtbare deel van een stelsel als een homogene platte schijf beschouwt, lukt het bij de echte 'outer-stars' niet meer om het rond te rekenen. Vergelijk hun gedrag nu eens met baanwielrenners die een naar de buitenzijde schuin oplopende baan in een stadion nodig hebben om met hoge snelheid toch in hun baan te blijven. Welnu, we hebben de kromming van de 3-sfeer ruimtetijd al beschreven. Dus de kromming van ons universum *vereist juist* dat de buitenste sterren sneller bewegen rond de kern van een sterrenstelsel om in hun baan te blijven. De buitenste sterren van sterrenstelsels ondergaan deze kromming van het universum. Berekening wijst uit dat de betreffende sterrenstelsels groot genoeg zijn om het extra effect uit de kromming te verklaren ($v^2 = G.M / r + c.H.r$). Donkere materie is niet nodig om de hoge baansnelheden van deze buitenste sterren te verklaren. De snelle ontwikkeling van het universum vóór de SLS (Surface of Last Scattering, het moment waarop het universum transparant werd), waargenomen op aarde als de kosmische achtergrondstraling, wordt ook wel gegeven als bewijs voor donkere materie. Hoe heeft het universum zich zo snel kunnen ontwikkelen kort voor de SLS? We weten het antwoord nu: kosmische inflatie. De kosmische inflatie verloopt van oneindig snel bij de Hubble Horizon tot 1093 bij de SLS.

Eigenschappen van het EMRW-model

Ons EMRW-model levert prachtige wis- en natuurkunde op. Het voldoet aan de stellingen van Noether en aan het perfecte kosmologisch principe. Het heeft onveranderlijke natuurconstanten. Het heeft een duidelijk gedefinieerde totale energie, volume en dichtheid; zie de appendix. Het model is gebaseerd op de gerepareerde Robertson-Walker-oplossing naar echte ruimtetijd en onze verbeterde Hubble-wet, die past bij de originele dataset van Hubble en Humason. Het verklaart de meeste

astronomische en kosmologische waarnemingen beter, zoals de verdeling van sterrenstelsels, schijnbaar snelle stervorming, snelle banen van buitenste sterren in sterrenstelsels, de anomalie van de Pioneers 10 en 11[5] (een vertraging van c.H) en zo meer. Het enige dat we nog nodig hebben, is een betere schatting van de Hubble-constante (nog gedefinieerd op basis van het FLRW-model), die in de loop der tijd van meer dan 500 tot minder dan 68 [$km.s^{-1}.Mpc^{-1}$] is geschat. In dit document hebben we de waarde 70 gebruikt, resulterend in een Hubble Horizon van 14 miljard (licht)jaar.

Ook op www.loop-doctor.nl staan veel artikelen over dit en aanverwante onderwerpen.

MSc. Maarten Palthe (auteur),
MSc. Frans de Winter (coauteur),
MSc. Oscar van Duijn (coauteur),
MSc. Rob Roodenburg (coauteur),
MSc. Henk van de Hulst (coauteur),
Alfred M. Jacobsen (redacteur)

Schiedam, juli 2020

[5] https://www.loop-doctor.nl/book-iii/ page 89

Appendix: formules in SI-eenheden

Gebruikte constanten en variabelen

c	lichtsnelheid	= 299.792.458	[m/s]	gedefinieerd en exacte waarde in vacuüm
G	Newton-constante	= 6,67 x 10^{-11}	[$m^3.s^{-2}.kg^{-1}$]	oftewel 'gravitatieconstante'
H	Hubble-constante	= 2,27 x 10^{-18}	[Hz]	H = 70 [$km.s^{-1}.Mpc^{-1}$]
v_0	lokale snelheid		[m/s]	alleen (lokale) snelheid
z	roodverschuiving		[ ]	heliocentrisch, heeft geen eenheden
D	afstand		[m]	afstand tot sterrenstelsels
t	tijd		[s]	universumtijd, geen snelheid of gravitatie
ω	vierde coördinaat		[m]	(x, y, z, ω) is een locatie op een 3-sfeer

Verbeterde Hubble-wet

$z = v_0 / c + H.D / (c - H.D)$	[ ]	verbeterde Hubble-wet
$D\% = z / (z + 1)$	[%]	afstand% van Hubble Horizon ($v_0 = 0$)

Einsteins 3-sfeer-model

$x^2 + y^2 + z^2 + \omega^2 = R_4^2$	[m^2]	Einsteins 3-sfeer-model van het universum

EMRW-model in constante eenheden van het jaar 2000 (figuur 1 en 2)

$x^2 + y^2 + z^2 + \omega^2 = r_4^2$	[m_{2000}]	EMRW 3-sfeer-ruimtetijd model
$r_4 = c.t / \pi$	[m_{2000}]	4D-straal in [m_{2000}] en tijd t in [s_{2000}]

Waarden in meebewegende coördinaten

$D_H = c / H$	= 1,32 x 10^{26}	[m]	meebewegende Hubble Horizon
$t_H = 1 / H$	= 4,41 x 10^{17}	[s]	meebewegende Hubble Horizon
$R_4 = c / \pi.H$	= 4,21 x 10^{25}	[m]	meebewegende radius van het universum
$E = c^5 / G.H$	= 1,60 x 10^{70}	[J]	meebewegende totale energie van het universum
$M = c^3 / G.H$	= 1,78 x 10^{53}	[kg]	meebewegende totale massa van het universum
$V = 2c^3 / \pi.H^3$	= 1,47 x 10^{78}	[m^3]	meebewegende totale volume van het universum
$\rho = \pi.H^2 / 2G$	= 1,21 x 10^{-25}	[$kg.m^{-3}$]	meebewegende gemiddelde dichtheid

Gerepareerde R&W-oplossing

$a(t) = 1 / (z + 1)$	[ ]	schaalfactor basiseenheden (s, m, kg en C)
$[s] = a(t).[s_{2000}]$		schaalfactor voor de vroegere eenheid seconde
$z + 1$		kosmische inflatie van het EMRW-model