

I

EEN KOSMISCH DETECTIVEVERHAAL: HET BEGIN

*Elke reis begint met een raadsel: hoe heeft de
reiziger eigenlijk zijn vertrekpunt bereikt?*

– Louise Bogan, *Journey Around My Room*

Het was een donkere, stormachtige avond...

Begin 1916 had Albert Einstein net zijn grootste levenswerk voltooid: een jarenlange, intensieve intellectuele worsteling om de nieuwe theorie van de zwaartekracht op te stellen die hij de algemene relativiteitstheorie noemde. Behalve een zwaartekrachttheorie was dat echter ook een nieuwe theorie over ruimte en tijd. Voor het eerst kon een wetenschappelijke theorie niet alleen uitleggen hoe objecten door de ruimte bewegen, maar ook de evolutie van de ruimte zélf verklaren.

Er school echter een addertje onder het gras. Toen Einstein zijn theorie begon toe te passen op het heelal als geheel, bleek dat de theorie niet het heelal beschreef waarin wij ons klaarblijkelijk bevinden.

Nu, bijna honderd jaar later, is het moeilijk te bevatten hoe ons beeld van het heelal binnen een mensenleven is veran-

derd. Voor de wetenschappelijke gemeenschap van 1917 was het heelal statisch en eeuwig, en bestond het uit één sterrenstelsel – onze Melkweg – dat omringd was door een oneindig uitgestrekte, donkere en lege ruimte. Dat is immers de indruk die je krijgt als je met het blote oog of een kleine telescoop naar de nachthemel kijkt. Er waren in die tijd weinig redenen om iets anders te vermoeden.

Net als in Newtons zwaartekrachttheorie is de zwaartekracht volgens Einstein een kracht die alle objecten naar elkaar toe trekt. Dat betekent dat het onmogelijk is dat er ergens in het heelal massa's zijn die eeuwig in rust blijven. Door hun onderlinge aantrekkingskracht zullen zij uiteindelijk altijd naar elkaar toe bewegen, wat duidelijk in tegenspraak is met het ogenschijnlijk statische karakter van het heelal.

Het feit dat Einsteins algemene relativiteitstheorie niet in overeenstemming leek met het toenmalige beeld van het heelal, was een grote schok voor hem. Om dat begrijpelijk te maken, moet ik een mythe over Einstein en de algemene relativiteitstheorie ontzenuwen die me al lang dwarszit. Vaak wordt gesteld dat Einstein zich jarenlang in een kamer heeft opgesloten en met pure denkkraft tot zijn prachtige theorie kwam, zonder deze aan de werkelijkheid te toetsen (ongeveer zoals sommige snaartheoretici nu te werk lijken te gaan!). Maar niets is minder waar.

Einstein liet zich altijd leiden door experimenten en waarnemingen. Hoewel hij vele 'gedachte-experimenten' in zijn hoofd uitvoerde en inderdaad meer dan tien jaar zwoegde, maakte hij zich ondertussen nieuwe soorten wiskunde eigen en volgde hij tal van doodlopende theoretische sporen voordat hij uiteindelijk een theorie afleverde die werkelijk van

grote wiskundige schoonheid was. Het meest cruciale moment in zijn ontluikende liefdesverhouding met de algemene relativiteit hing echter samen met een waarneming. In de laatste hectische weken dat hij bezig was zijn theorie te voltooien, met de hete adem van de Duitse wiskundige David Hilbert in zijn nek, gebruikte hij zijn vergelijkingen om een voorspelling te berekenen van een ogenschijnlijk nogal obscuur astrofysisch resultaat: de kleine verschuiving van het *perihelium* (punt van dichtste nadering) van de baan van Mercurius om de zon.

Het was sterrenkundigen al opgevallen dat de omloopbaan van Mercurius zich niet precies aan de regels van Newton hield. Deze baan was geen volmaakte, gesloten ellips, maar vertoonde een kleine precessie. Dat wil zeggen dat de ellips als geheel een beetje draait, waardoor de planeet na het voltooien van een omloop niet terug is bij af, maar een soort spiraalpatroon doorloopt. Deze precessie was ongelooflijk klein: 43 boogseconden (ongeveer een honderdste van een graad) per eeuw.

Toen Einstein de omloopbaan van Mercurius met behulp van zijn algemene relativiteitstheorie berekende, kwam daar precies de waargenomen periheliumverschuiving uit. Volgens Einstein-biograaf Abraham Pais was deze ontdekking ‘verreweg de meest emotionele ervaring in Einsteins wetenschappelijke leven, misschien zelfs in zijn hele leven’. Naar eigen zeggen kreeg Einstein hartkloppingen – het was alsof er ‘iets was geknapt’ van binnen. Ook toen hij zijn theorie een maand later aan een vriend omschreef als één van ‘onvergelijkbare schoonheid’, toonde hij zich zichtbaar verheugd over de wiskundige vorm. Over hartkloppingen zwijgen de berichten.

De ogenschijnlijke discrepantie tussen de algemene relativiteitstheorie en de waarnemingen omtrent het statische karakter van het heelal was echter van korte duur. (Hoewel deze Einstein er nog wel toe bracht om een aanpassing op zijn theorie te introduceren die hij later zijn grootste blunder zou noemen. Maar daarover later meer.) Iedereen – enkele Amerikaanse schoolcommissies daargelaten – weet nu wel dat het heelal niet statisch is, maar uitdijt, en dat deze uitdijning ongeveer 13,72 miljard jaar geleden is begonnen met een ongelooflijk hete, dichte oerknal. Ook weten we dat ons sterrenstelsel slechts één van misschien wel vierhonderd miljard sterrenstelsels in het waarneembare heelal is. Eigenlijk zijn we cartografen in de dop, die nog maar net bezig zijn om het heelal op zijn grootste schaal in kaart te brengen. Geen wonder dus dat ons beeld van het heelal de afgelopen decennia drastisch is veranderd.

De ontdekking dat het heelal niet statisch is, maar uitdijt, is van diepgaande filosofische en religieuze betekenis, omdat zij erop wijst dat ons heelal een begin had. Een begin wijst op schepping, en schepping roept emoties op. Nadat het na de ontdekking van de uitdijning van het heelal in 1929 enkele decennia had geduurd voordat er onafhankelijk bewijs werd gevonden voor het idee van een oerknal, zag paus Pius XII daarin in 1951 het bewijs voor het Bijbelse scheppingsverhaal:

Het lijkt erop dat de hedendaagse wetenschap, in één klap de eeuwen overbruggend, erin is geslaagd bewijs te vinden voor dat grootse moment van het oorspronkelijke *Fiat Lux* ['Daar zij licht'], toen tezamen met materie uit het niets een zee van licht en straling losbarstte, en de elementen

Een kosmisch detectiveverhaal: het begin

spleten en kolkten en miljoenen sterrenstelsels vormden. Aldus, met die concreetheid die kenmerkend is voor fysieke bewijzen, heeft de wetenschap de contingentie van het heelal, en ook de goed gefundeerde conclusie omtrent de periode dat de wereld voortkwam uit de handen van de Schepper, bevestigd. Daarom vond schepping plaats. Wij zeggen: 'Dus er is een Schepper. Dus God bestaat!'

Het complete verhaal is veel interessanter. Eigenlijk was het de Belgische priester en natuurkundige Georges Lemaître die als eerste met het idee van een oerknal kwam. Lemaître was van vele markten thuis. Hij begon met een studie mijnbouwkunde die werd onderbroken door de Eerste Wereldoorlog, waarin hij zich onderscheidde als infanterist bij de artillerie. Na de oorlog pakte hij de draad weer op, maar koos nu voor een doctoraalstudie wiskunde, die hij begin jaren twintig combineerde met een priesteropleiding. Vervolgens stapte hij over op de kosmologie, eerst als student-onderzoeker bij de beroemde Britse astrofysicus Arthur Stanley Eddington, later in Harvard. Uiteindelijk behaalde hij nog een doctorsgraad in de natuurkunde aan het Massachusetts Institute of Technology.

In 1927, nog voor zijn tweede promotie, slaagde Lemaître erin Einsteins vergelijkingen van de algemene relativiteitstheorie op te lossen en te bewijzen dat deze theorie een niet-statisch heelal voorspelt en, sterker nog, erop wijst dat ons heelal uitdijt. Dat laatste idee was zo ongehoord dat Einstein zelf het afdeed met de kleurrijke woorden: 'Uw wiskunde is juist, maar uw natuurkunde is abominabel.'

Maar Lemaître zette door en kwam in 1930 met het voorstel

dat ons uitdijende heelal is begonnen als een oneindig klein punt dat hij het 'oeratoom' noemde, en dat dit begin een 'dag zonder gisteren' voorstelde – mogelijk een verwijzing naar het Bijbelse scheppingsverhaal.

De door paus Pius gelauwerde oerknal was dus bedacht door een priester. Je zou denken dat Lemaître blij was met de pauselijke goedkeuring. Maar hijzelf verwierp het idee dat zijn wetenschappelijke theorie theologische consequenties had al vroeg: een alinea over deze kwestie werd door hem geschrapt uit de conceptversie van zijn oerknalartikel uit 1931.

Later deed Lemaître daar nog een schepje bovenop door het door de paus omarmde idee dat de oerknal het Bijbelse scheppingsverhaal bevestigde volmondig af te wijzen (niet in de laatste plaats omdat hij beseftte dat als de oerknaltheorie later onjuist zou blijken te zijn, mogelijk ook de rooms-katholieke claims op het Bijbelse scheppingsverhaal aangevochten zouden worden). 'Voor zover ik kan zien, staat zo'n theorie geheel los van alle metafysische of religieuze kwesties,' zei hij als lid van de Pauselijke Academie van Wetenschappen, waarvan hij later voorzitter zou worden. De paus bracht het onderwerp nooit meer openlijk ter sprake.

Hierin schuilt een belangrijke les. Lemaître zag in dat de vraag of de oerknal werkelijk heeft plaatsgevonden een wetenschappelijke is, geen theologische. Bovendien, zelfs als de oerknal had plaatsgevonden (waar het overgrote deel van het bewijsmateriaal inmiddels op wijst), zou deze, afhankelijk van iemands religieuze of metafysische voorkeuren, op verschillende manieren kunnen worden geïnterpreteerd. Je kunt ervoor kiezen om de oerknal als het bewijs voor een schepper te zien als je dat nodig vindt, of juist betogen dat de wiskunde

van de algemene relativiteitstheorie de evolutie van het heelal tot aan het ontstaan ervan kan verklaren zonder dat daar een schepper aan te pas komt. Maar zo'n metafysische bespiegeling staat los van de fysische validiteit van de oerknal zelf en is niet relevant voor ons begrip ervan. Natuurlijk kan de wetenschap, zodra we verder kijken dan het uitdijende heelal zelf om de fysische eigenschappen te begrijpen die het ontstaan ervan behandelen, meer inzicht geven in deze bespiegeling. En zoals ik zal betogen doet zij dat ook.

Hoe dan ook: het was noch Lemaître, noch paus Pius die de wetenschappelijke wereld ervan overtuigde dat het heelal uitdijt. Zoals bij alle goede wetenschap werd het bewijs geleverd door nauwkeurige waarnemingen, die in dit geval werden gedaan door Edwin Hubble, die mijn vertrouwen in de mensheid blijvend heeft vergroot door zijn carrière als advocaat in te ruilen voor een baan in de sterrenkunde.

Hubble had al in 1925 voor een aanzienlijke doorbraak gezorgd met de nieuwe 2,5-meter Hooker-telescoop op Mount Wilson – destijds de grootste telescoop ter wereld. (Ter vergelijking: er worden binnenkort telescopen gebouwd met een meer dan tienmaal zo grote middellijn en een honderd keer zo groot licht-verzameland oppervlak!) Die doorbraak had betrekking op de vage lichtvlekjes die sterrenkundigen aan de hemel hadden waargenomen, waarvan duidelijk was dat het geen sterren waren. Over de afstanden van deze objecten, die 'nevels' werden genoemd, werd hevig gediscussieerd.

Omdat volgens de heersende opvatting van die tijd het heelal uit één sterrenstelsel bestond (het onze), dachten de meeste sterrenkundigen dat ook de nevels daar deel van uitmaakten. Anderen plaatsten de nevels juist buiten de Melk-

weg. Het eerste kamp stond onder leiding van de beroemde sterrenkundige Harlow Shapley van de Harvard University. Shapley had zijn middelbare school niet afgemaakt, maar studeerde op eigen houtje door en ging uiteindelijk naar Princeton. Zijn besluit om sterrenkunde te gaan studeren, was ingegeven door het feit dat *Astronomy* boven aan de lijst van mogelijke studies stond. Hij zag als eerste in dat de Melkweg veel groter was dan voorheen werd gedacht, en dat de zon niet in het centrum ervan stond, maar in een verre, oninteressante uithoek. Hij had veel gezag in de sterrenkunde en zijn ideeën omtrent de aard van de nevels wogen dan ook zwaar.

Op de eerste dag van 1925 publiceerde Hubble de resultaten van zijn twee jaar durende onderzoek van zogeheten spiraalnevels, waaronder de opvallende Andromedanevel, waarin hij een bijzonder soort sterren wist op te sporen die ‘cepheïden’ werden genoemd.

Al sinds de ontdekking van de eerste cepheïde, in 1784, was bekend dat deze sterren regelmatige helderheidsveranderingen vertonen. Maar ze bleken nóg een opvallende eigenschap te hebben. Dat werd in 1908 opgemerkt door de ondergewaardeerde Henrietta Swan Leavitt, die in dienst was van de Harvard-sterrenwacht – niet als sterrenkundige, maar als ‘Harvard Computer’. Deze vrouwelijke ‘rekenmachines’ hadden de taak om de helderheden te meten van sterren die op fotografische platen van de sterrenwacht waren vastgelegd (vrouwen mochten de telescopen van de sterrenwacht zelf niet gebruiken...).

Tijdens haar werk ontdekte Leavitt, dochter van een congregationalistisch predikant en afstammeling van de Pilgrim

Fathers, dat er een direct verband bestaat tussen de helderheid van een cepheïde en de periode van zijn helderheidsvariatie. Dus als je de afstand tot één cepheïde zou kunnen bepalen (wat in 1913 ook werkelijk lukte), zou je uit de helderheden van andere cepheïden met dezelfde periode ook hún afstanden kunnen afleiden. De waargenomen helderheid van een ster is immers omgekeerd evenredig met het kwadraat van zijn afstand! (Sterlicht verspreidt zich gelijkmatig over een bol waarvan het oppervlak toeneemt met het kwadraat van zijn straal, waardoor het licht over een steeds grotere bol wordt uitgesmeerd en de lichtintensiteit afneemt met het oppervlak van de bol.)

Leavitts ontdekking was een revolutie. Hubble, die de Nobelprijs werd onthouden, heeft vaak gezegd dat Leavitt deze prijs verdiende (al kan dat een kwestie van eigenbelang zijn geweest, omdat zij in dat geval waarschijnlijk de prijs met hem had moeten delen). In 1924 was de Koninklijke Zweedse Academie ook daadwerkelijk van plan om Leavitt voor de Nobelprijs te nomineren. Maar tijdens de voorbereidingen kwam men erachter dat zij drie jaar daarvoor aan kanker was overleden. De kracht van zijn persoonlijkheid, zijn talent voor zelfpromotie en zijn vaardigheid als waarnemer maakten Hubble tot een begrip, terwijl Leavitt helaas alleen onder sterrenkundig ingewijden nog enige bekendheid geniet.

Met zijn metingen van cepheïden en Leavitts periode-lichtkrachtrelatie lukte het Hubble om eens en voor altijd aan te tonen dat de Andromedanevel en verscheidene andere nevels veel te ver weg waren om tot het Melkwegstelsel te behoren. De Andromedanevel bleek een ander 'heelaleiland' te zijn, een spiraalstelsel dat veel op het onze lijkt. En inmiddels weten

we dat er in ons waarneembare heelal honderden miljarden van zulke stelsels zijn.

Het resultaat van Hubble was ondubbelzinnig genoeg om de sterrenkundige gemeenschap – inclusief Shapley, die inmiddels directeur was geworden van de Harvard-sterrenwacht waar Leavitt haar baanbrekende onderzoek deed – er snel van te overtuigen dat er meer is dan ons Melkwegstelsel. Het heelal was in één klap sterker in omvang gegroeid dan ooit tevoren! En ook zijn aard was veranderd, zoals bijna alles eigenlijk.

Na zijn spectaculaire ontdekking had Hubble op zijn lauweren kunnen gaan rusten, maar zijn honger was nog niet gestild. Door de nog zwakkere cepheïden in verder weg gelegen sterrenstelsels te meten, kon hij het heelal op nog grotere schaal in kaart brengen. Daarbij deed hij een opmerkelijke ontdekking: het heelal dijt uit!

Hubble kwam tot die conclusie door de afstanden van de sterrenstelsels die hij had gemeten te vergelijken met de metingen van een andere Amerikaanse sterrenkundige, Vesto Slipher, die de spectra had geanalyseerd van het licht dat deze sterrenstelsels uitzenden. Om het bestaan en de eigenschappen ervan te kunnen begrijpen, moet ik u meenemen naar het prille begin van de moderne sterrenkunde.

Een van de belangrijkste sterrenkundige ontdekkingen was dat sterren zo'n beetje uit hetzelfde spul bestaan als de aarde. Het begon allemaal, zoals zo veel dingen in de moderne wetenschap, met Isaac Newton. In 1665 liet de nog jonge Newton zonlicht, dat via een gaatje in het vensterluik zijn verduisterde kamer binnenkwam, door een prisma gaan. Daarbij constateerde hij dat het zonlicht werd uitgesmeerd tot de bekende

kleuren van de regenboog. En daaruit trok Newton de juiste conclusie dat het zonlicht al deze kleuren bevat.

Honderdvijftig jaar later ontdekte een andere wetenschapper, die het uitgesmeerde licht wat beter bekeek, donkere lijnen tussen de kleuren. Daarvan veronderstelde hij dat deze werden veroorzaakt door stoffen in de buitenste atmosfeer van de zon die licht van specifieke kleuren of golflengten absorbeerden. Deze 'absorptielijnen', zoals ze genoemd werden, konden in verband worden gebracht met de golflengten waarop bekende stoffen op aarde, zoals waterstof, stikstof, ijzer, natrium en calcium, licht absorbeerden.

In 1868 ontdekten twee andere wetenschappers een gele lijn in het spectrum van de zon, die met geen enkel bekend element op aarde overeenkwam. Deze lijn was afkomstig van een gas dat pas een generatie later op aarde werd geïsoleerd: helium.

Het spectrum van de straling die sterren uitzenden, is een belangrijk wetenschappelijk hulpmiddel om hun samenstelling, temperatuur en evolutie te begrijpen. Vanaf 1912 bestudeerde Slipher de spectra van verschillende spiraalnevels, en stelde daarbij vast dat deze sterke overeenkomsten vertoonden met de spectra van sterren, behalve dan dat alle absorptielijnen een beetje in golflengte waren opgeschoven.

Dit verschijnsel werd toegeschreven aan het bekende dopplereffect, dat was genoemd naar de Oostenrijkse natuurkundige Christian Doppler, die in 1842 had laten zien dat de golven die een bron uitzendt worden uitgerekt als de bron zich van je verwijdert en worden samengedrukt als de bron naar je toe komt. Dat is een effect waar we allemaal vertrouwd mee zijn, en dat me altijd doet denken aan de spotprent van Sidney

Harris van twee cowboys te paard die in de verte een trein voorbij zien rijden, waarbij de ene tegen de andere zegt: 'Ik ben dol op het eenzame gefluit van een trein dat van frequentie verandert door het dopplereffect!' Een treinfluit of de sirene van een ambulance klinkt inderdaad hoger wanneer de trein of ambulance naar je toe komt, en lager wanneer deze zich van je verwijdert.

Het blijkt dat hetzelfde verschijnsel ook bij licht optreedt, zij het om iets andere redenen. De lichtgolven van een bron die zich van je verwijdert – ofwel doordat hij zich verplaatst in de ruimte, ofwel doordat de tussenliggende ruimte uitdijt – worden uitgerekt en lijken daardoor roder dan zij anders zouden zijn, terwijl de lichtgolven van een bron die op je af komt, worden samengedrukt en blauwer lijken. (Van het zichtbare licht heeft rood licht de langste golflengte, blauw licht de kortste.)

In 1912 ontdekte Slipher dat de absorptielijnen in de lichtspectra van spiraalnevels bijna altijd naar langere golflengten waren opgeschoven – slechts in enkele gevallen, zoals de Andromedanevel, was sprake van blauwverschuiving. Hij trok daaruit de juiste conclusie dat de meeste van deze objecten dus met aanzienlijke snelheden van ons weg bewegen.

Dat bood Hubble de mogelijkheid om de door hem gemeten afstanden van deze spiraalstelsels (zoals ze inmiddels werden genoemd) te vergelijken met hun snelheden. Geholpen door Mount Wilson-staf lid Milton Humason (wiens technische talent zodanig was dat hij een vaste aanstelling kreeg zonder ook maar de middelbare school te hebben afgemaakt) deed Hubble daarbij een opmerkelijke ontdekking, die in 1929 door hem werd gepubliceerd: er bestaat een lineair verband tussen de

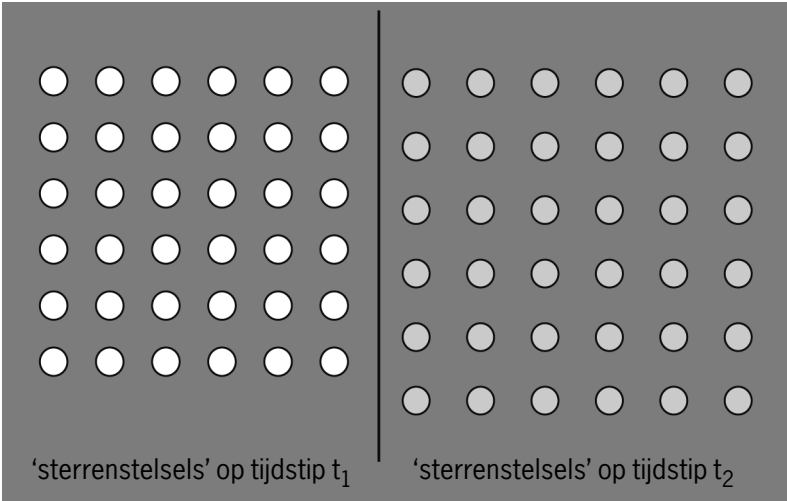
vluchtsnelheden en afstanden van sterrenstelsels. Volgens die empirische 'wet van Hubble' bewegen sterrenstelsels dus sneller van ons vandaan naarmate ze verder van ons verwijderd zijn!

Toen dit opmerkelijke feit – dat bijna alle sterrenstelsels zich van ons verwijderen, en dat stelsels die twee keer zo ver weg zijn ook twee keer zo snel bewegen, en stelsels die drie keer zo ver weg zijn drie keer zo snel, enzovoorts – voor het eerst werd gepresenteerd, leek de conclusie onvermijdelijk: *wij zijn het middelpunt van het heelal!*

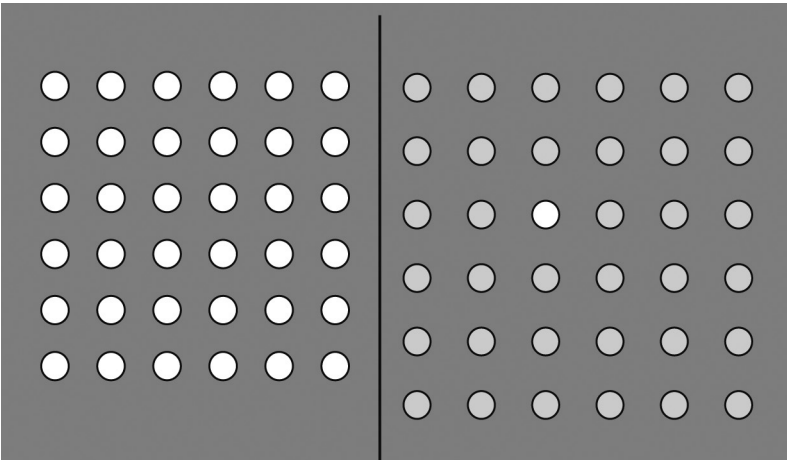
Volgens sommige van mijn vrienden moet ik er dagelijks aan worden herinnerd dat dit *niet* het geval is. Integendeel, de ontdekking was in overeenstemming met het verschijnsel dat Lemaître al had voorspeld: ons heelal dijt inderdaad uit.

Ik heb allerlei manieren geprobeerd om dit uit te leggen en ben eerlijk gezegd tot de conclusie gekomen dat er maar één goede manier bestaat: we moeten buiten het kader van ons heelal denken. Om te begrijpen wat de wet van Hubble inhoudt, moeten we ons Melkwegstelsel ontstijgen en ons heelal van buitenaf bekijken. Het is niet gemakkelijk om buiten een driedimensionaal heelal te gaan staan, maar bij een tweedimensionale versie is dat een fluitje van een cent. Hieronder heb ik zo'n uitdijend heelal op twee verschillende momenten getekend. Zoals u kunt zien, staan de sterrenstelsels op het tweede plaatje verder uit elkaar.

Universum uit het niets

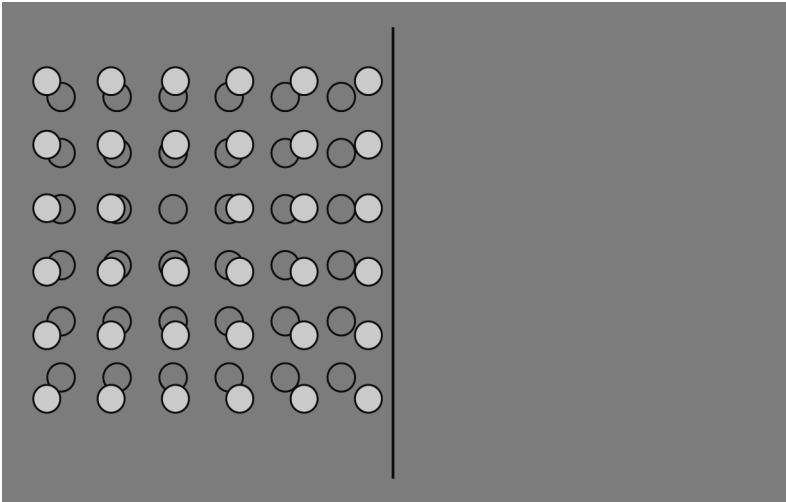


Stelt u zich nu voor dat u zich bevindt in een van de sterrenstelsels op het tweede tijdstip (t_2), dat ik in het rechterplaatje wit zal markeren.



Een kosmisch detectiveverhaal: het begin

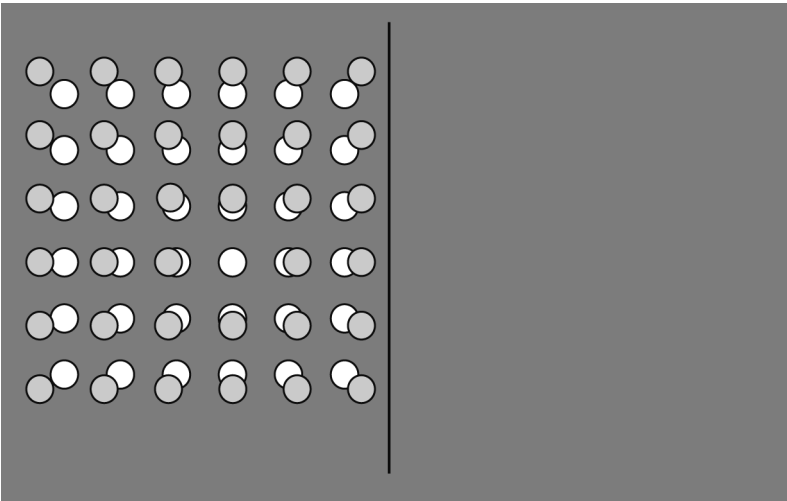
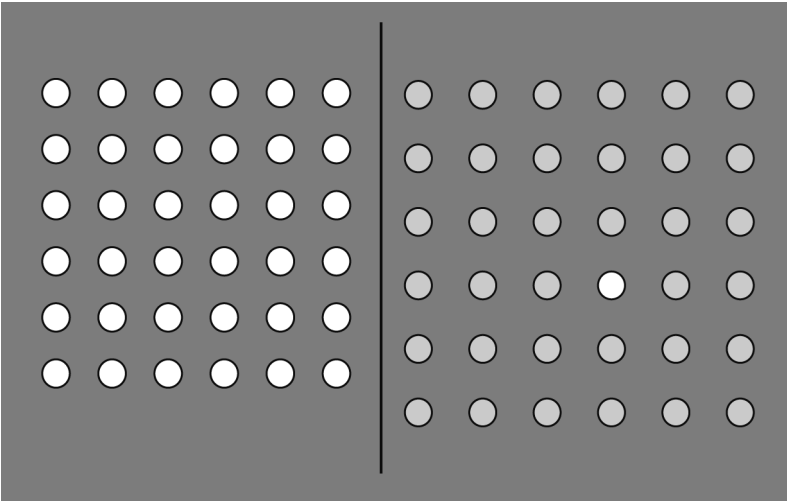
Om te zien hoe de evolutie van het heelal er vanuit het standpunt van dit sterrenstelsel uitziet, leg ik simpelweg het rechterplaatje over het linkerplaatje heen, waarbij ik het witte stelsel bovenop zichzelf positioneer.



Kijk! Vanuit het standpunt van dit sterrenstelsel lijkt elk sterrenstelsel weg te bewegen, en stelsels die twee keer zo ver weg zijn, hebben in dezelfde tijd een twee keer zo grote afstand afgelegd, en stelsels die drie keer zo weg zijn, hebben een drie keer zo grote afstand afgelegd, enzovoorts. Zolang er maar nergens een rand is, hebben de bewoners van het sterrenstelsel het idee dat zij zich in het centrum van de uitdijing bevinden.

Het doet er ook niet toe welk sterrenstelsel we kiezen. Dit stelsel bijvoorbeeld:

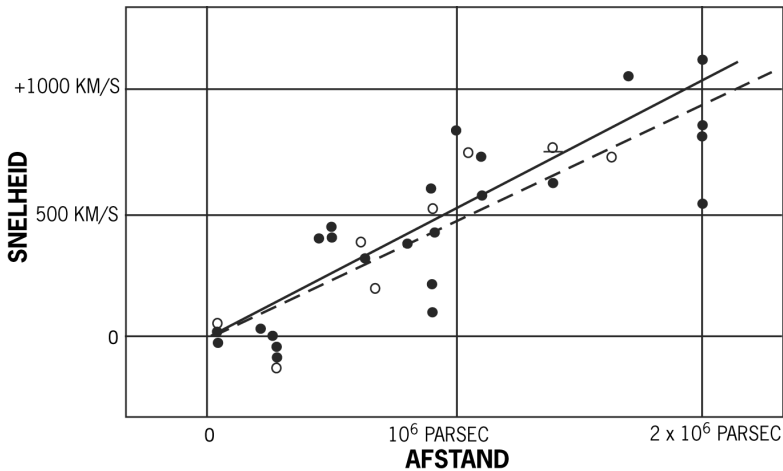
Universum uit het niets



Afhankelijk van hoe je ernaar kijkt is dus *elke plek* het middelpunt van het heelal of *geen enkele plek*. Het doet er gewoon

niet toe: de wet van Hubble is consistent met een uitdijend heelal.

Welnu, toen Hubble en Humason in 1929 de resultaten van hun analyse lieten zien, gaven zij niet alleen het lineaire verband tussen afstand en vluchtsnelheid, maar ook een kwantitatieve schatting van de uitdijingsnelheid zelf. Dit zijn de gegevens die zij destijds presenteerden:



Zoals u kunt zien, is Hubbles idee om een rechte lijn door de meetpunten te trekken nogal een gok. (Er is wel een zeker verband te zien, maar op grond van deze gegevens is verre van duidelijk of dat een lineair verband is.) Het getal voor de uitdijingsnelheid dat ze aan deze grafiek ontleenden, wees erop dat een sterrenstelsel op een afstand van een miljoen parsec (ruim drie miljoen lichtjaar) – de gemiddelde afstand tussen sterrenstelsels – met een snelheid van vijfhonderd kilometer per seconde van ons weg beweegt. Deze schatting zat er echter flink naast.

Dat laatste laat zich gemakkelijk inzien. Als alle stelsels op dit moment van elkaar weg bewegen, moeten ze vroeger dichterbij elkaar hebben gezeten. En omdat de zwaartekracht een aantrekkende kracht is, zou deze de uitdijning van het heelal moeten vertragen. Dat betekent dat een stelsel dat we nu met 500 km/s van ons weg zien bewegen, vroeger een grotere vluchtsnelheid moet hebben gehad.

Als we echter even aannemen dat de snelheid van het stelsel onveranderd is gebleven, kunnen we uitrekenen hoe lang geleden het is dat zijn afstand tot ons Melkwegstelsel nul was. En omdat stelsels die twee keer zo ver weg zijn een twee keer zo grote vluchtsnelheid hebben, blijkt terugrekenend dat zij zich op datzelfde moment op dezelfde plek bevonden als wij. Sterker nog: het volledige waarneembare heelal komt op hetzelfde moment in dat ene punt, de oerknal, bij elkaar.

Op die manier is het dus mogelijk om een schatting te maken van de tijd die sinds de oerknal is verstreken. Deze schatting levert echter slechts een bovengrens op: als de stelsels vroeger sneller bewogen, zijn ze immers in kortere tijd op hun huidige locatie aangekomen dan onze schatting suggereert.

Gebaseerd op de grafiek van Hubble kon de oerknal niet veel langer dan ongeveer anderhalf miljard jaar geleden hebben plaatsgevonden. Zelfs in 1929 was echter al duidelijk (behalve voor Bijbelse letterknechten dan) dat de aarde minstens drie miljard jaar oud was.

Het is voor een wetenschapper nogal gênant om tot de conclusie te komen dat het heelal jonger is dan de aarde. Maar belangrijker is dat dit erop wijst dat er iets mis is met de analyse.

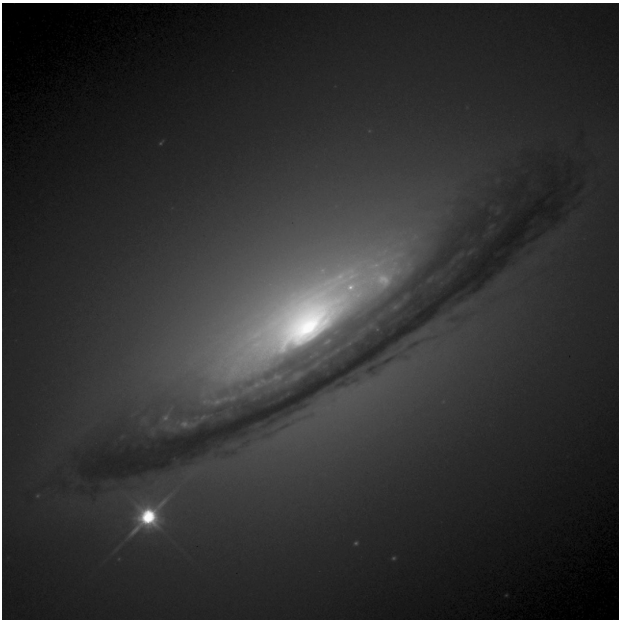
De bron van deze ongerijmdheid was eenvoudig het feit dat Hubbles afstandsschattingen, zoals afgeleid uit de periode-

Een kosmisch detectiveverhaal: het begin

lichtkrachtrelatie van de cepheïden in ons Melkwegstelsel, systematisch onjuist waren. De 'afstandsladder', die beruiste op het gebruik van nabije cepheïden om de afstanden van verder weg staande cepheïden te schatten, en daaruit weer schattingen te maken van de afstanden van sterrenstelsels waarin nóg verder verwijderde cepheïden waren waargenomen, vertoonde een gebrek.

Het verhaal van hoe deze systematische effecten zijn overwonnen, is te lang en ingewikkeld om hier te behandelen. Het doet er bovendien niet veel meer toe, omdat we inmiddels een veel betere afstandsindicator hebben gevonden.

Hieronder is een van mijn favoriete opnamen van de Hubble-ruimtetelescoop te zien:



Op de foto is een schitterend ver spiraalstelsel te zien, zoals het heel lang geleden was (het licht van het stelsel heeft er namelijk meer dan vijftig miljoen jaar over gedaan om ons te bereiken). Een spiraalstelsel als dit, dat veel op het onze lijkt, telt ongeveer honderd miljard sterren. Alleen al in de heldere kern staan er een stuk of tien miljard. Linksonder staat een opvallende ster die in zijn eentje bijna net zo veel licht uitstraalt. Op het eerste gezicht zou je denken dat dit gewoon een veel nabijere ster van ons eigen Melkwegstelsel is, die toevallig in de weg staat. Maar het is werkelijk een ster van dat verre spiraalstelsel, meer dan vijftig miljoen lichtjaar van ons vandaan.

Dat is duidelijk geen gewone ster. Het is een ster die net ontploft is, een supernova – een van de helderste vuurwerkshows in ons heelal. Wanneer een ster explodeert, zendt hij gedurende korte tijd (een maand of zo) net zo veel zichtbaar licht uit als tien miljard sterren.

Gelukkig voor ons ontploffen sterren niet zo vaak: in elk sterrenstelsel vindt ongeveer eens in de honderd jaar een supernova-explosie plaats. En dat is maar goed ook, want als dat niet zo was, zouden wij er niet zijn. Een van de meest romantische feitjes over het heelal die ik ken, is dat zo'n beetje elk atoom waaruit u bestaat ooit in een ster heeft gezeten die geexplodeerd is. Bovendien zijn de atomen in uw linkerhand waarschijnlijk afkomstig van een andere ster dan die in uw rechterhand. We zijn letterlijk sterrenkinderen en onze lichamen bestaan uit sterrenstof.

Hoe we dat weten? Welnu, we kunnen ons beeld van de oerknal extrapoleren tot de tijd dat het heelal ongeveer één seconde oud was. Berekeningen laten zien dat alle waargenomen materie toen was samengeperst tot een dicht plasma met een