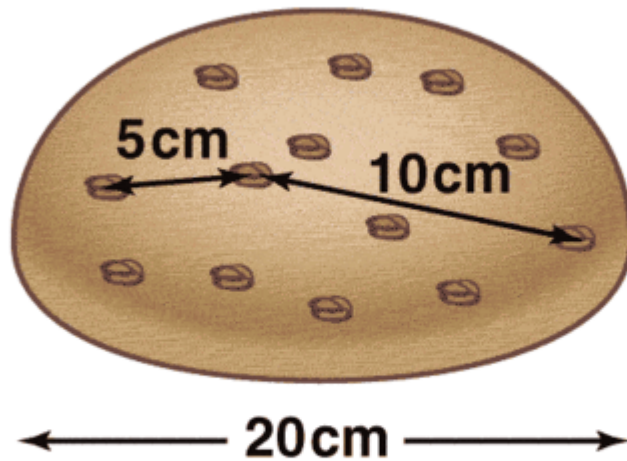


Leven in een uitdijend heelal

Het heelal dijt uit. Zoals we in deel 1 van dit dossier al zagen, kwam Edwin Hubble in 1929 tot die verrassende conclusie. Maar wat zijn de gevolgen van die uitdijing? Is er een “middelpunt” van het heelal waar alles vandaan vliegt? En hoe zit het als die uitdijing zo snel gaat dat de lichtsnelheid bereikt wordt? In deel 2 van ons dossier over kosmologie geeft Vincent Min antwoord op deze vragen.

Vorige week konden jullie lezen over [de wet van Hubble](#). In 1929 keek Edwin Hubble naar de sterren (en, zoals vorige week terecht door een lezer opgemerkt, onafhankelijk van Hubble ook Vesto Slipher) en deed hij een opmerkelijke waarneming: alle sterren die hij bekeek bewegen van de aarde af. Sterker nog, hoe verder de ster verwijderd is, hoe sneller deze van ons af beweegt. Zoals vorige week uitgelegd kan dit worden verklaard doordat de ruimte tussen de sterren uitdijt. Hoe verder de ster van ons verwijderd is, hoe meer uitdijende ruimte er tussen ons en de ster zit en hoe sneller hij van ons af beweegt. Een goede analogie om de uitdijing te beschrijven is om de sterren in ons heelal te zien als krenten in een rijzend krentenbrood. De krenten bewegen van elkaar af omdat het brood tussen de krenten uitdijt. Op dezelfde manier dijt de ruimte tussen de sterren uit.



MAP990404

Afbeelding 1. Een rijzend krentenbrood. Terwijl het krentenbrood groter wordt, nemen ook de afstanden tussen de krenten toe. Elke krent “ziet” elke andere krent recht van zich af bewegen, met een snelheid die evenredig is met de afstand. Afbeelding: NASA.

We leven dus in een uitdijend heelal. Deze waarneming heeft een aantal interessante gevolgen. Voordat we in deze gevolgen duiken, is het nuttig om de wet van Hubble te herhalen: de wet van Hubble geeft de snelheid v van een ster als functie van de afstand van de ster, d :

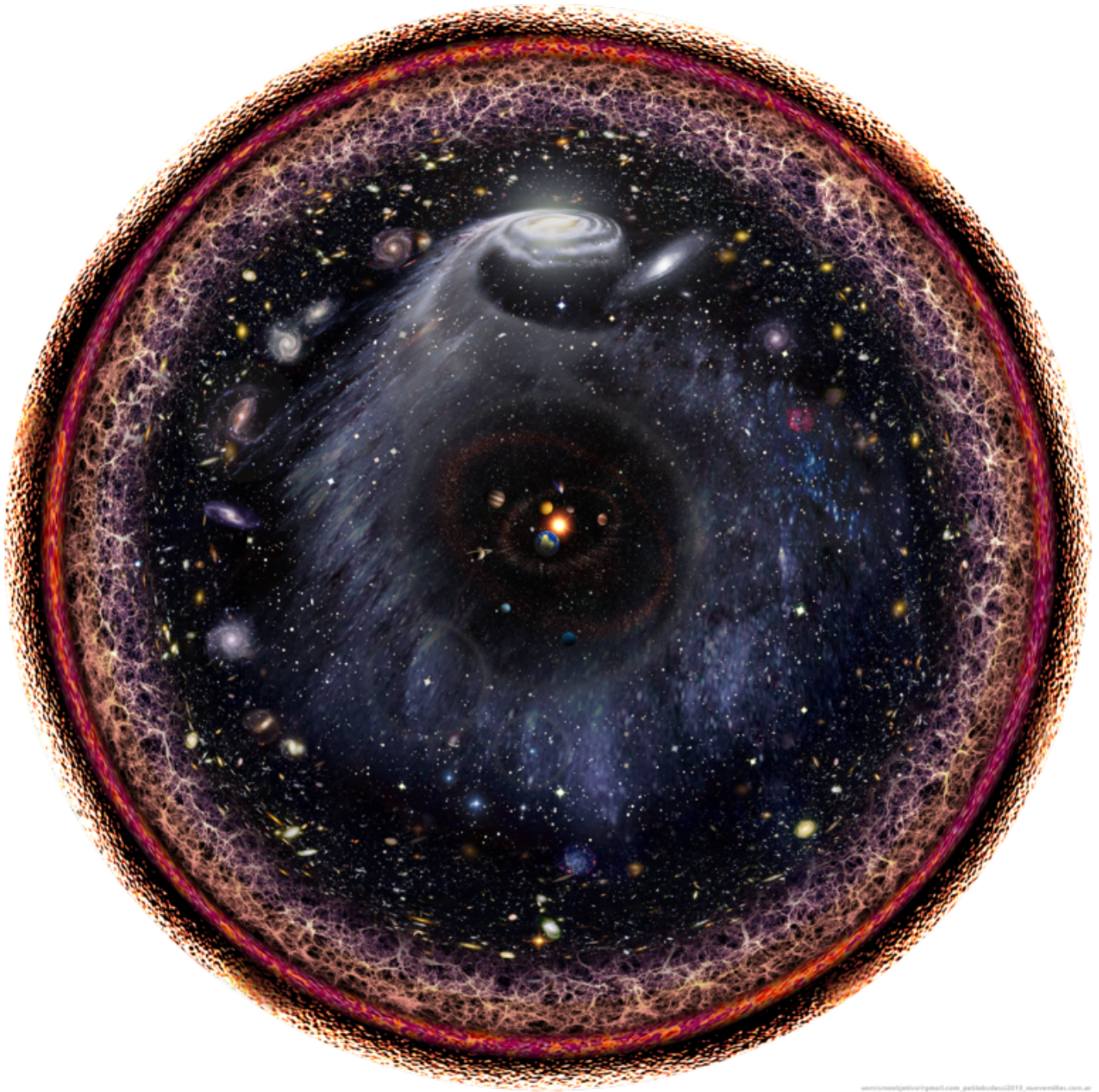
$$v = H_0 \times d$$

Hier is H_0 de Hubbleconstante – zo’n 73 km/s per megaparsec. Deze wet vertelt ons dat, als een ster bijvoorbeeld twee keer zo ver weg staat, hij met een twee keer zo grote snelheid van ons vandaan beweegt.

Een gevolg hiervan is dat een ster, als die ver genoeg staat, zelfs met de lichtsnelheid van

ons vandaan kan bewegen. Als we naar de wet van Hubble kijken, dan zien we dat sterren met de lichtsnelheid c van ons af bewegen als ze op een afstand $d=c/H_0$ van ons af staan - een afstand van zo'n 14 miljard lichtjaar. Sterren die nog verder weg staan bewegen zelfs sneller dan met de lichtsnelheid van ons vandaan! De bol met ons als middelpunt en straal c/H noemen we het *Hubblevolume*. Het licht dat momenteel wordt uitgezonden door sterren buiten het Hubblevolume zal ons dus nooit kunnen bereiken! Vanwege de uitdijing van ons heelal moeten we dus concluderen dat er sterren zijn die we nooit zullen zien.

Een kleine verduidelijking is hier wellicht noodzakelijk. Albert Einsteins [speciale relativiteitstheorie](#) vertelt ons immers dat niets sneller dan het licht door de ruimte kan bewegen. Hier is het belangrijk om te onthouden dat de sterren niet daadwerkelijk *door de ruimte* bewegen. Denk weer aan de analogie met een krentenbrood waar de krenten ook niet door het deeg bewegen. De snelheid van de sterren wordt veroorzaakt door uitdijing van de ruimte *tussen* de sterren.



Afbeelding 2. Het heelal. Het hele zichtbare heelal weergegeven in één afbeelding; naar de rand toe steeds verder uitgezoomd. Het meest interessante is natuurlijk dat zo'n "rand" er is: er is een grens tot aan hoe ver we kunnen kijken! Afbeelding: Pablo Carlos Budassi (CC BY-SA 3.0).

Een tweede gevolg van de wet van Hubble zien we als we de tijd vooruitspoelen en naar de verre toekomst van ons universum kijken. Als de uitdijning in de toekomst door blijft gaan, dan zullen andere sterrenstelsels zich steeds verder van ons af bewegen. Dat betekent dat sterrenstelsels zich zelfs buiten ons Hubblevolume zullen bewegen. Op den duur zullen we

overblijven met slechts een groepje sterrenstelsels die bij elkaar worden gehouden door de onderlinge zwaartekracht. Sterren waar wij vandaag de dag nog licht van ontvangen zullen dus onzichtbaar zijn voor onze achter-achter-achter-achter...achterklein-kinderen. De dichtstbijzijnde groep sterrenstelsels staat 11,6 miljoen lichtjaar van ons vandaan en zal na 70 miljard jaar ons Hubblevolume verlaten. Dat is bijna vijf keer de huidige leeftijd van ons universum! Dit eenzame bestaan ligt dus gelukkig nog erg ver in onze toekomst.

Een vraag die we onszelf kunnen stellen is: "Wat drijft de uitdijing van het heelal?". Het waren de onderzoekers Friedmann, Lemaître, Robertson en Walker die deze vraag systematisch wisten te beantwoorden. Ze maakten een natuurkundig model waarin de ruimte kan uitdijen.

Met deze opzet bestudeerden ze de vergelijkingen die volgen uit Einsteins algemene relativiteitstheorie. Deze wetten bepalen hoe de ruimte zich gedraagt. Er bleken verschillende mogelijke scenario's te zijn, afhankelijk van de soorten energie in het universum. In het volgende artikel in dit dossier, dat op dinsdag 27 november verschijnt, zullen we deze scenario's nader bekijken.