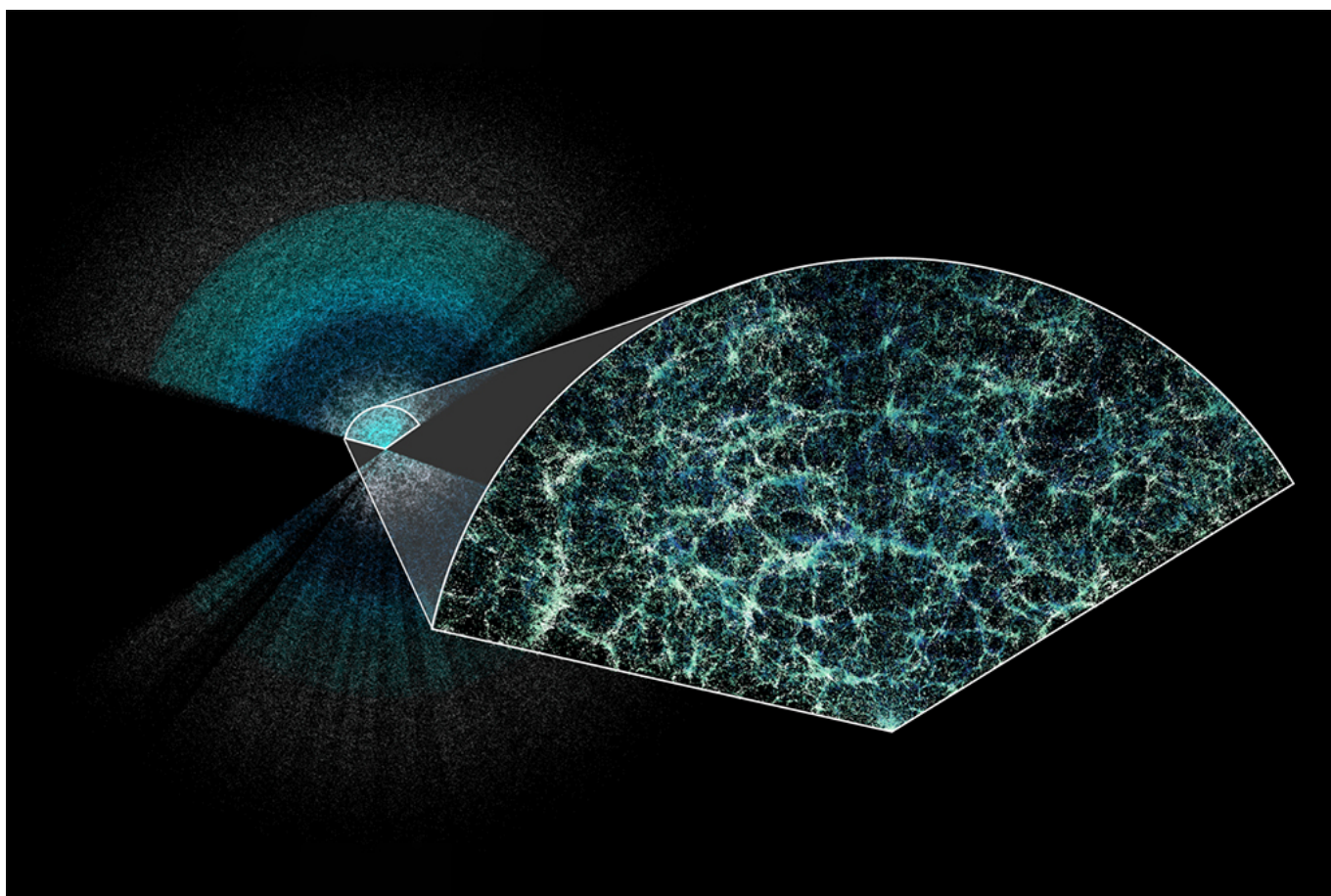


Is de kosmologische constante constant?

De survey van het Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI), met de resultaten van hun eerste jaar aan metingen, werd in april naar buiten gebracht. In de survey worden de locaties van miljoenen sterrenstelsels in kaart gebracht, om hiermee de uitdijning van het heelal te meten. De resultaten lijken te wijzen op een afwijking van het meest gangbare model van ons heelal, het Lambda-Cold Dark Matter model (Λ CDM), waarin het heelal met een constante versnelling uitdijt. In plaats daarvan lijkt die versnelling af te zwakken.



Afbeelding 1. Miljoenen sterrenstelsels. Een uitvergroot stukje van de kaart die DESI

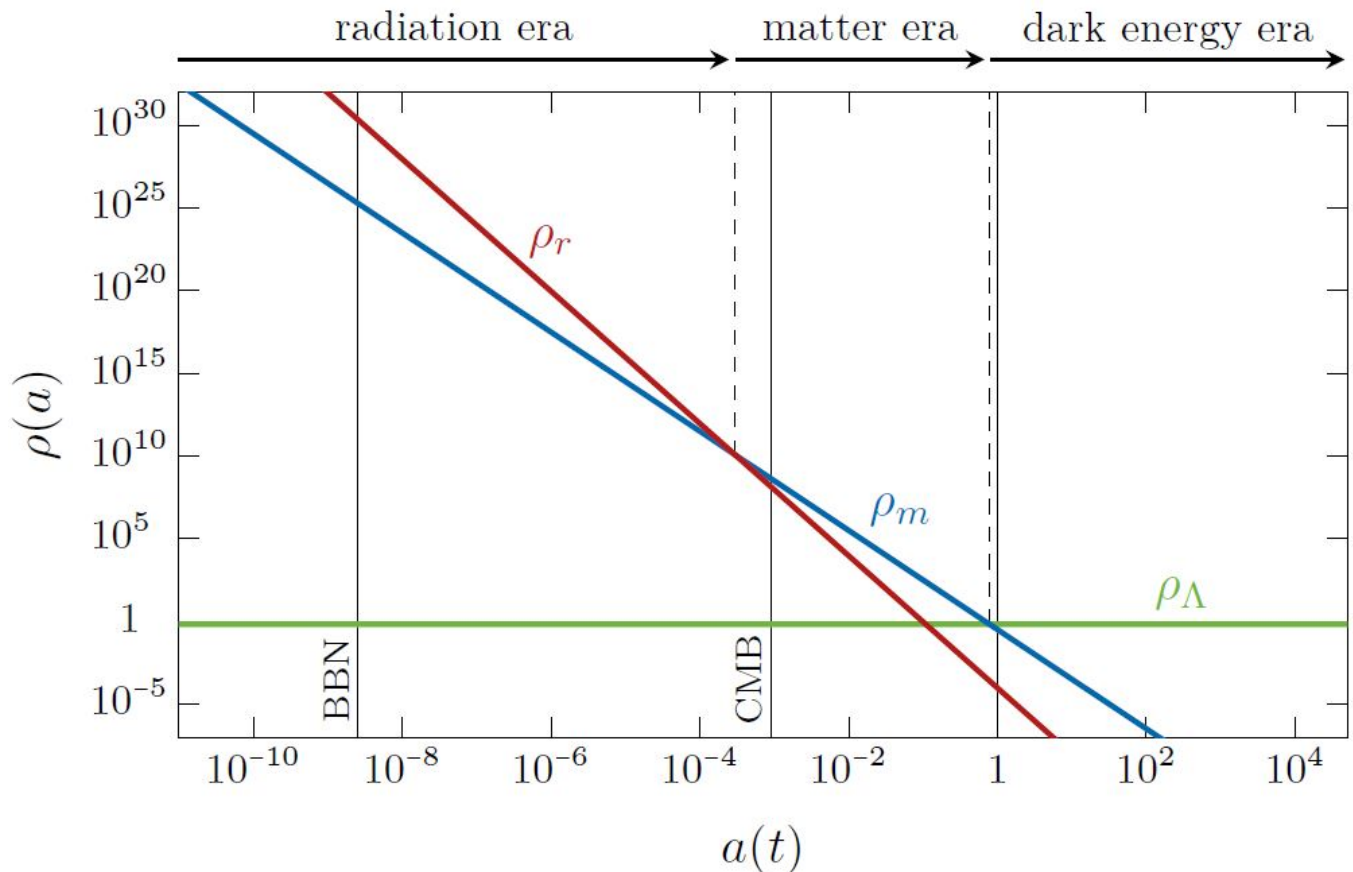
heeft gemaakt van miljoenen sterrenstelsels. Bron: Claire Lamman/DESI collaboration.

Het meest gangbare model van de evolutie van ons heelal is het Λ CDM-model. Dit model neemt aan dat ons heelal bestaat uit de ons welbekende materie (protonen, neutronen, elektronen), straling, donkere materie, en donkere energie. Een essentiële eigenschap van deze ingrediënten is hoe hun energiedichtheid in het heelal verdunt onder de uitdijning van het heelal. Zo verdunt de energiedichtheid van straling erg snel, verdunt materie, zowel donker als normaal, langzamer – namelijk omgekeerd evenredig met het volume van de ruimte – en verdunt donkere energie helemaal niet! Hoe al deze ingrediënten verdunnen tijdens de uitdijning van het heelal heeft weer effect op hoe snel die uitdijning zelf gaat. Dit wordt in een formule beschreven door de zogeheten *Friedmannvergelijking*:

$$\left(\frac{H(a)}{H_0} \right)^2 = \Omega_m a^{-3} + \Omega_r a^{-4} + \Omega_{\Lambda},$$

waar a een schaalfactor van het heelal is, die van de tijd afhangt en die we op 1 zetten voor onze huidige tijd ($a(t_0) = 1$). $H(a)$ staat bekend als de *Hubbleparameter*; een grootheid die kwantificeert hoe snel het heelal uitdijt. H_0 is de huidige waarde van die parameter – gemeten op ongeveer 70 km/s /Mpc, wat betekent dat ongeveer (10^{22}) meter hiervandaan – één megaparsec – alles met een snelheid van 70 km/s van ons af beweegt. Aan de rechterkant van de Friedmannvergelijking zijn $\Omega_{m,r,\Lambda}$ de huidige relatieve energiedichtheden ten opzichte van een kritieke energiedichtheid waarbij het heelal plat is, voor respectievelijk materie, straling ('radiation') en donkere energie. Als het heelal niet plat is – volgens Einsteins relativiteitstheorie [kan ruimte ook krom zijn](#) – dan is er nog een extra term in de bovenstaande vergelijking, maar het heelal is bij goede benadering wél plat.

De Friedmannvergelijking is een zogeheten differentiaalvergelijking, die je kan oplossen om zo de tijdsevolutie van de schaalfactor a te vinden. De ontwikkeling van de drie energiedichtheden in de loop van de tijd wordt weergegeven in afbeelding 2. Je ziet daar dat de energiedichtheid van donkere energie inderdaad gelijk blijft. De donkere energie is dan ook een soort 'energie van de ruimtetijd zelf', en als de ruimte uitdijt, en er dus meer ruimte bijkomt, komt er in dezelfde mate meer energie bij, en dunt de donkere energie dus niet uit.



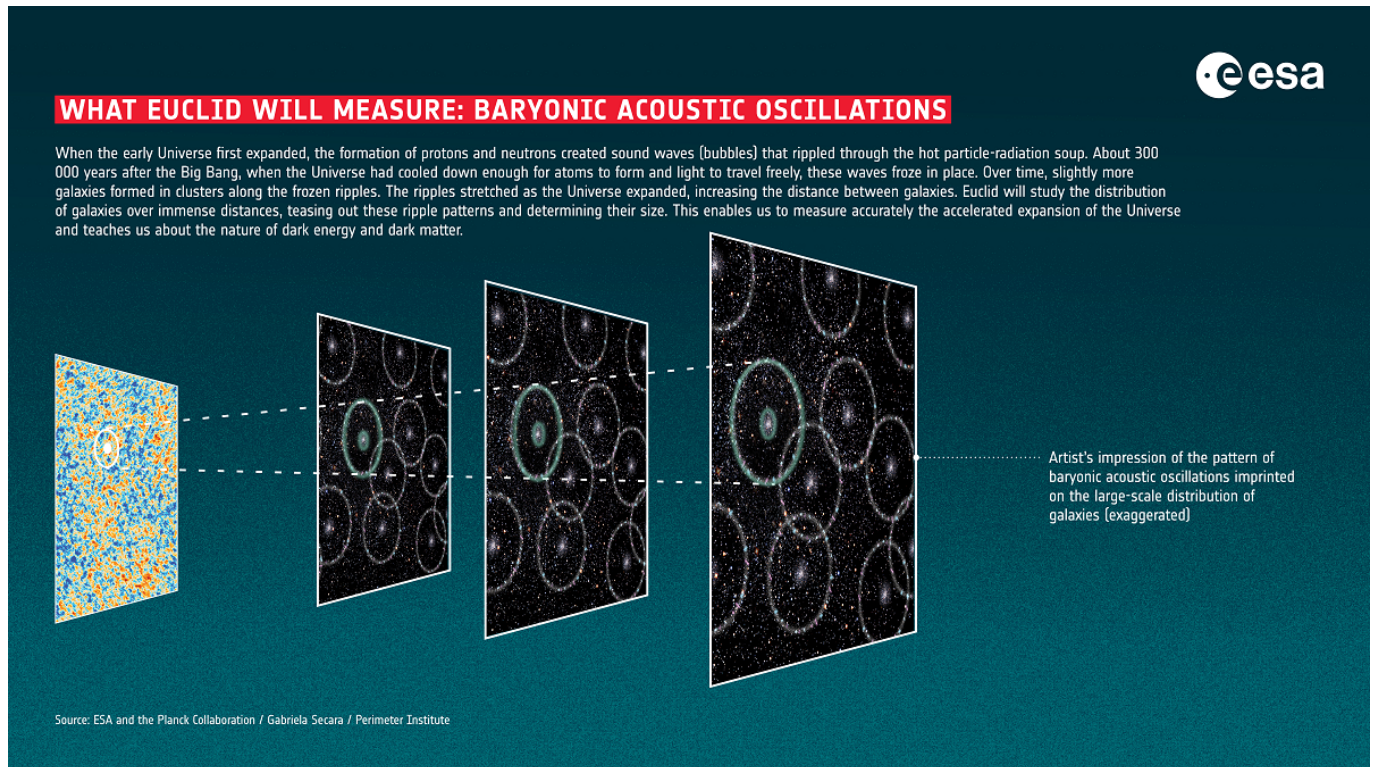
Afbeelding 2. De evolutie van de verschillende energiedichtheden in het heelal. Als je de getoonde energiedichtheden ρ deelt door de kritieke energiedichtheden voor een vlak heelal krijg je de grootheden Ω uit de Friedmannvergelijking. Bron: het boek '[Cosmology](#)' van Daniel Baumann.

Toen Einstein zijn algemene relativiteitstheorie had geformuleerd, was een eerste probleem dat de verdunningseigenschappen van alleen materie en straling ervoor zouden zorgen dat het heelal ineen zou klappen. Einsteins oplossing was het toevoegen van een *kosmologische constante*, iets wat in zijn vergelijkingen ook donkere energie zou invoeren, en wat zoals gezegd een energie van de ruimtetijd zelf voorstelt. De kosmologische constante moest ervoor zorgen dat het heelal netjes even groot bleef. Na metingen van Edwin Hubble bleek echter dat het heelal uitdijt, en dus helemaal niet even groot blijft. Het verhaal gaat dat Einstein het invoeren van de kosmologische constante zijn grootste blunder ooit noemde, maar in dat geval had hij te vroeg gesproken. Onderzoekers kwamen er in 1998 namelijk achter dat de uitdijing van het heelal *versnelt* in de loop van de tijd. De herintroductie van een kosmologische constante bleek een perfecte verklaring te zijn voor het versnellend uitdijen van het heelal, en het daarop gebaseerde Λ CDM-model werd het dominerende model voor ons heelal.

Tot dusver een ruwe schets van (een deel van) de huidige toestand van de kosmologie. Als natuurkundigen een mooi model hebben geconstrueerd dat goed lijkt te werken, is het natuurlijk interessant om te kijken of het gebroken kan worden: kunnen we afwijkingen vinden van dit model? Daarvoor moet je heel nauwkeurig kunnen meten hoe de uitdijning van het heelal verloopt gedurende de geschiedenis van het heelal, en checken of dat gebeurt volgens de Friedmannvergelijkingen. Dat is precies wat de DESI survey de afgelopen drie jaar heeft gedaan, waarvan vorige maand de resultaten van het eerste jaar aan metingen verschenen.

Het DESI-onderzoek maakt gebruik van een verschijnsel dat *Baryonische Akoestische Oscillaties* (BAO's) wordt genoemd, ofwel: geluidstrillingen in de gewone materie. In de beginstadia van het heelal was er een hete soep van materie, toen nog bestaand uit losse elektronen, protonen, neutronen en licht, die door de zwaartekracht wilde samenballen, maar door druk van de straling weer wilde uitzetten. Deze elkaar tegenwerkende effecten creëerden pulsaties die voor golven in de materie zorgden – de BAO's. Op een bepaald moment was het heelal genoeg afgekoeld waardoor zich atomen konden vormen, en de vorming van die atomen zorgde ervoor dat het heelal in één keer heel sterk afkoelde. Daarmee werden de BAO-geluidsgolven in één klap bevroren, omdat de zwaartekracht de strijd nu opeens won. Het is een beetje alsof je een steen in een meertje gooit die daar golven veroorzaakt, waarna het meer spontaan befrist en de golven op hun plaats blijven.

Op hetzelfde moment dat atomen zich vormden werd het heelal ook voor het eerst transparant voor licht. Het licht afkomstig van dit moment noemen we de *Cosmic Microwave Background Radiation* (CMB). Door die straling – die we nog altijd kunnen ontvangen – te meten, kunnen we weten hoe groot de afstanden tussen de pieken van die baryonische golven destijds waren. Tegelijkertijd hebben, doordat op de pieken van die golven destijds meer materie was, zich daarna op die plekken meer sterrenstelsels gevormd. Zie ook afbeelding 3 voor een illustratie van ESA die dit toelicht.



Afbeelding 3. BAO's meten. Een illustratie van de European Space Agency die uitlegt hoe Euclid, een telescoop van de volgende generatie, de BAO's gaat meten. Bron: [ESA](https://www.esa.int).

De DESI-survey heeft met een telescoop een kaart gemaakt van de locaties van miljoenen sterrenstelsels, en in die data kunnen we de overblijfselen van de BAO's terugzien. Dit heeft DESI voor een aantal verschillende types sterrenstelsels gedaan. Doordat je sterrenstelsels die verder van je weg staan ook ziet zoals ze er op een eerder tijdstip uitzagen, kan je zo meten hoe de afstand tussen de pieken van wat ooit die BAO's waren in de loop van de tijd verandert. Zo kun je meten hoe de uitdijning van het heelal verliep. Wanneer de onderzoekers deze data combineren met eerdere metingen aan supernova's, komen ze uit op een uitdijning die niet constant versnelt, maar langzaam iets minder gaat versnellen. Dat zou betekenen dat er een afwijking is van het Λ CDM-model en dat de kosmologische constante niet constant is!

Op deze metingen zit natuurlijk ook een foutmarge, zoals dat met alle metingen het geval is. De vraag is, vergeleken met de foutmarge, hoeveel de metingen verschillen van het Λ CDM-model. Afhankelijk van welke eerdere onderzoeken de onderzoekers meerekenen ligt dat tussen de 2,5 en 3,9 'sigma' (of *standaarddeviaties*), zoals dat in vaktermen genoemd wordt. Een gouden standaard om te besluiten dat er écht iets aan de hand is, zou een afwijking van 5 sigma of meer zijn; het is dus nog goed mogelijk dat de nu gemeten afwijking met verdere

metingen verdwijnt.

De huidige resultaten zijn slechts afkomstig van het eerste jaar van de DESI-survey. Er volgen er nog vier, waarvan de eerste twee al gemeten zijn; de resultaten van het tweede en derde jaar zullen ook snel worden bekendgemaakt. Daarnaast zijn er andere telescopen in aanbouw die vergelijkbare maar nog preciezere metingen gaan doen. Het worden dus spannende tijden! Het resultaat van dit onderzoek is overigens ook voor snaartheoretici interessant, omdat het vinden van een ruimtetijd met een constant versnellende uitdijng [een onmogelijkheid lijkt te zijn binnen de snaartheorie](#), terwijl een model waarin de kosmologische constante niet constant is misschien wel te realiseren valt. Eén ding is zeker: als deze afwijking standhoudt, en we zo ontdekken dat de kosmologische constante dus helemaal geen 'constante' is, is dat een van de grootste ontdekkingen van de huidige eeuw binnen de kosmologie.

Meer weten?

Twee auteurs van het artikel waarin de resultaten van de DESI-survey worden aangekondigd, lichten in de onderstaande podcast hun bevindingen toe. De podcast is wel voor een enigszins professioneel publiek bedoeld, maar misschien toch leuk om eens te luisteren.

[DESI 2024 – Cosmological Constraints from BAO \(Font-Ribera & Nadathur\)](#)

Voor wie iets eenvoudigers zoekt is er dit korte filmpje van astrofysicus 'dr. Becky' die de resultaten uitlegt voor een meer algemeen publiek:

Verder heeft Quanta Magazine ook een interessant stuk over dit onderzoek gepubliceerd,

[Dark Energy May Be Weakening, Major Astrophysics Study Finds](#)

en is er nog een kort artikel voor een algemeen publiek op de site van DESI zelf, waar ook doorgelinkt wordt naar andere nieuwsmedia die hun resultaten bespreken:

[DESI 2024 in the News: Is Dark Energy Weakening? New Uncertainty Invites Optimism About the Fate of the Universe](#)

Ten slotte nog een persbericht dat in veel detail, maar nog steeds voor het algemeen

publiek, de resultaten bespreekt:

[First Results from DESI Make the Most Precise Measurement of Our Expanding Universe](https://www.quantumuniverse.nl/is-de-kosmologische-constante-constant)