



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

DESI's scherpste kosmische meetlat, en een zorgvuldig misschien over donkere energie

DESI heeft de uitdijingsgeschiedenis van het universum gemeten met de meest precieze baryonisch-akoestische meetlat ooit gebouwd, uit zes miljoen objecten. Op zichzelf komt die meetlat overeen met het standaardmodel waarin donkere energie een constante is. Pas wanneer DESI wordt gecombineerd met de kosmische microgolfachtergrond en een supernovasample verschijnt een voorkeur voor evoluerende donkere energie — op $2,6\sigma$ tot $3,9\sigma$ afhankelijk van welke supernova's worden toegevoegd, onder de drempel die natuurkundigen voor een ontdekking vereisen en gevoelig voor de data waarmee ze wordt gekoppeld. Een echte vraag die precies is gemaakt, geen antwoord.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from the Measurements of Baryon Acoustic Oscillations*, DESI Collaboration: A. G. Adame, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, D. M. Alexander, et al., *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)* 02 (2025) 021 · DOI: 10.1088/1475-7516/2025/02/021

Een meetlat van geluid

Vroeg in het universum, voordat er sterren waren, klonk het hete plasma van gewone materie en licht. Drukgolven liepen erdoorheen met meer dan de halve lichtsnelheid, totdat het universum genoeg was afgekoeld om atomen te laten vormen en het klinken ophield — waarbij een zwakke voorkeursafstand werd bevroren in de verdeling van de materie. Die afstand, de *geluidshorizon*, bedraagt vandaag ongeveer 150 megaparsec (ruwweg 490 miljoen lichtjaar), en hij verschijnt als een licht overschot aan sterrenstelsels die door die spanne van elkaar gescheiden zijn, in elke richting en in elk tijdperk. Kosmologen noemen het de baryonische akoestische oscillatie, of BAO, en gebruiken haar als standaardmeetlat: meet hoe groot die bevroren schaal aan de hemel lijkt op verschillende afstanden, en je brengt in kaart hoe snel het universum in de loop van zijn geschiedenis is uitgedijd.

Het Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) werd gebouwd om die meetlat beter te meten dan wie dan ook heeft gedaan. Zijn eerste datarelease brengt de BAO-schaal in kaart in sterrenstelsels, quasars en het Lyman-alfawoud van verre gaswolken — ruim zes miljoen objecten, verspreid over zeven roodverschuivingsintervallen van roodverschuiving 0,1 tot 4,2. Om menselijke verwachting buiten het resultaat te houden, voerde het team de analyse *blind* uit en hield het de kosmologische uitkomst voor zichzelf verborgen totdat de methoden waren vastgelegd. Het is, met ruime voor-sprong, de meest precieze BAO-meting ooit gedaan.



DESI is gemonteerd op de Nicholas U. Mayall 4-metertelescoop op Kitt Peak, Arizona. Het instrument voert duizenden optische vezels naar spectrografen en zet posities aan de hemel om in spectra en roodverschuivingen voor miljoenen sterrenstelsels en quasars.

Wat is DESI

Het **Dark Energy Spectroscopic Instrument** is een spectrograaf op de Nicholas U. Mayall 4-metertelescoop op Kitt Peak, Arizona. Het ziet donkere energie niet rechtstreeks — niets kan dat, want donkere energie geeft geen licht af. In plaats daarvan registreert het de spectra van ongeveer 5.000 sterrenstelsels en quasars tegelijk, leest het de roodverschuiving van elk object af aan hoe het uitdijende universum zijn licht heeft opgerekt, en bouwt het een driedimensionale kaart van miljoenen ervan. Donkere energie wordt vervolgens afgeleid uit hoe die kaart de kosmische uitdijning in de loop van de tijd laat veranderen. Voor de volledige keten — van de robotvezels tot de akoestische meetlat — zie Hoe DESI werkt.

De kop die ermee de wereld overging, was dat donkere energie misschien geen constante is — dat het mysterieuze iets dat de uitdijning van het universum versnelt, in de loop van de tijd zou kunnen *verzwakken*, en zo het kosmologische standaardmodel zou doen barsten. Die bewering is niet verzonnen, maar ze laat zich gemakkelijk overinterpretieren. De eerlijke versie is specifiek, en interessanter: DESI's eigen meetlat komt, op zichzelf, overeen met het doodgewone standaardmodel. De aanwijzing voor iets nieuws verschijnt pas wanneer je DESI combineert met andere data — en hoe sterk de aanwijzing lijkt, hangt af van welke andere data je kiest.

DESI's baryonisch-akoestische meetlat is op zichzelf consistent met een constante donkere energie (een kosmologische constante). De voorkeur voor *evoluerende* donkere energie ontstaat pas wanneer DESI wordt gecombineerd met de kosmische microgolfachtergrond en een supernovasample — en haar sterkte verschuift met welk supernovasample wordt gebruikt.

Standaardmeetlat, en de twee manieren waarop donkere energie kan variëren

De BAO-schaal is een *standaardmeetlat*: omdat we haar ware lengte kennen uit de fysica van het vroege universum, vertelt het vergelijken van die ware lengte met haar schijnbare grootte op een gegeven afstand ons hoeveel het universum tegen die tijd was uitgedijd. Gemeten over vele afstanden traceert de meetlat de hele uitdijingsgeschiedenis — en dat is precies wat donkere energie bepaalt.

In het standaardmodel, Λ CDM genoemd, is donkere energie een *kosmologische constante*: een vaste energiedichtheid van de lege ruimte die nooit verandert. Natuurkundigen benoemen haar gedrag met een parameter van de “toestandsvergelijking”, w , die voor een echte kosmologische constante overal en altijd precies -1 is.

Om dat te testen kun je het op twee manieren versoepelen. De eenvoudigste is w een andere constante te laten zijn (nog steeds vast in de tijd) — dit is “ w CDM”. De rijkere is w te laten veranderen naarmate het universum uitdijt, beschreven door twee getallen: w_0 , zijn waarde vandaag, en w_a , hoe snel hij verschuift. Dit “ w_0w_a CDM”-model reduceert tot Λ CDM in het enkele punt $w_0 = -1$, $w_a = 0$. Een voorkeur voor w_0 groter dan -1 met een negatieve w_a is wat “evoluerende donkere energie” hier betekent: donkere energie die in het verleden sterker afstotend was en nu afzwakt.

Wat de auteurs deden

- Maten de BAO-schaal uit DESI's eerste jaar aan data — sterrenstelsels, quasars en het Lyman-alfawoud — ruim zes miljoen objecten in zeven roodverschuivingsintervallen over $0,1 < z < 4,2$.
- Voerden de analyse **blind** uit, waarbij het kosmologische resultaat verborgen bleef totdat de methodologie vastlag, als bescherming tegen bevestigingsbias.
- Pasten het standaard vlakke Λ CDM-model aan op DESI-BAO alleen, en daarna in combinatie met een prior uit de oerknalnucleosynthese en de kosmische microgolfachtergrond (CMB) van Planck en ACT.
- Breidden het model op twee manieren uit: een constante donkere-energie- w (w CDM), en een in de tijd variërende $w_0 w_a$ ($w_0 w_a$ CDM).
- Testten het tijdsafhankelijke model door DESI+CMB beurtelings te combineren met drie verschillende compilaties van type Ia-supernova's — Pantheon+, Union3 en DES-SN5YR — in plaats van er één te kiezen.
- Legden grenzen op aan de gesommeerde massa van de neutrino's, en gingen na hoe die grenzen verschuiven als de donkere-energieachtergrond mag variëren.

Wat ze vonden

- **DESI-BAO alleen zijn consistent met het standaardmodel.** Ze geven een materiedichtheid $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$, en, wanneer donkere energie een constante w wordt toegestaan, $w = -0,99 (+0,15/-0,13)$ — precies op de kosmologische-constantewaarde van -1 .
- Gecombineerd met de CMB en zijn lensing geeft DESI $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ en een Hubbleconstante $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ wanneer in plaats daarvan gekoppeld aan de nucleosynthese en de akoestische schaal van de CMB).
- **In het tijdsafhankelijke model geven de combinaties de voorkeur aan evoluerende donkere energie** — $w_0 > -1$ en $w_a < 0$. De voorkeur is $2,6\sigma$ voor DESI+CMB, en wanneer een supernovasample wordt toegevoegd, wordt het $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ of $3,9\sigma$ voor respectievelijk Pantheon+, Union3 of DES-SN5YR (sigma meet hoe ver een resultaat van de standaardmodelverwachting af ligt; 5σ is de gebruikelijke drempel voor een geclaimde ontdekking, en het is geen uitspraak dat de interpretatie juist is — gids).
- Vrijgelaten wordt de gesommeerde neutrinomassa strak begrensd — onder $0,072 \text{ eV}$ (95% betrouwbaarheid) voor DESI+CMB — maar het artikel is er expliciet over dat deze grens aanzienlijk versoepelt als de donkere-energieachtergrond van Λ CDM mag afwijken.

Wat dit niet bewijst

- Het toont **niet** aan dat donkere energie evolueert. DESI's eigen meetlat is consistent met een kosmologische constante; de aanwijzing voor evolutie verschijnt alleen in *gecombineerde fits*, en alleen in het rijkere tweeparametermodel.

- Het betekent **niet** dat “ Λ CDM dood is” of “Einstein ongelijk had”. Het sterkste getal, $3,9\sigma$, ligt onder de 5σ -conventie die natuurkundigen vereisen voordat ze iets een ontdekking noemen — en het standaardmodel blijft een goede fit voor DESI alleen.
- Het resultaat is **niet** sample-onafhankelijk. Het verwisselen van de supernovacompilatie verschuift de significantie van $2,5\sigma$ naar $3,9\sigma$ — meer dan een volle sigma. Een signaal waarvan de grootte zozeer afhangt van welke externe dataset je eraan vastmaakt, is een aanwijzing om na te jagen, geen meting om te verzilveren.
- De neiging van DESI *alleen* naar $w_0 > -1$ wordt **deels door één enkel afwijkend punt** gedreven — het sterrenstelselinterval bij roodverschuiving 0,51, dat iets te hoog ligt ten opzichte van Λ CDM. Maar dit is waar het artikel zijn huiswerk doet: het behandelt dat punt als een statistische fluctuatie, en laat zien dat het vervangen van *alle* DESI-metingen bij lage roodverschuiving ($z < 0,6$) door de oudere SDSS-metingen het donkere-energieresultaat onveranderd laat. Het vreemde punt trekt aan DESI op zichzelf; het stut **niet** de gecombineerde aanwijzing. (Onafhankelijke groepen hebben sindsdien nauwkeuriger naar zijn rol gekeken.) Dit voorbehoud snijdt dus precies de andere kant op dan het soms wordt verteld: het resultaat werd aan een stresstest onderworpen tegen zijn meest afwijkende data, en hield stand.
- De neutrinomassagrens is **geen** modelonafhankelijk oordeel. Ze is alleen strak als de achtergrond-uitdijning op Λ CDM wordt vastgehouden; versoepel dat, en de grens versoepelt mee.

Hoe sterk is het bewijs

- **Zeer sterk als afstandsmeting.** De BAO-meetlat is een van de schoonste gereedschappen in de kosmologie, die van DESI is de meest precieze tot nu toe, en de blinde analyse is precies de waarborg die je wilt tegen het inlezen van een gehoopt antwoord in de data.
- **Oprecht intrigerend, maar niet beslissend, als donkere-energieclaim.** Een voorkeur van $2,6\sigma$ uit DESI+CMB, oplopend tot $3,9\sigma$ met de meest beperkende supernovaset, is het soort resultaat dat meer telescooptijd verdient — niet het soort dat een model omverwerpt. De eerlijke reden tot voorzichtigheid is de spreiding over de supernovasamples; het strekt de auteurs tot eer dat ze ook controleerden dat hun ene meest afwijkende BAO-punt het resultaat niet drijft — precies het huiswerk dat een claim als deze nodig heeft.
- Het artikel is zorgvuldig met zichzelf: het rapporteert de significantie op drie manieren in plaats van de grootste te citeren, en het wijst op de modelafhankelijkheid van zijn neutrinoresultaat. De overdrijving, waar die bestaat, zit in de navertelling, niet in het artikel.

Waarom het ertoe doet

Een kwarteeuw lang zijn “donkere energie” en “kosmologische constante” vrijwel door elkaar gebruikt, omdat elke meting consistent was met een w van precies -1 . DESI is de eerste dataset die precies genoeg is om, gecombineerd met andere, zelfs maar te *vragen* of die -1 verschuift — en een antwoord te krijgen dat geen vlak nee is. Dat is een echte verschuiving in wat de data kunnen, en daarom verdient het resultaat aandacht. Maar dezelfde precisie laat ons zien hoe voorwaardelijk de

aanwijzing is: levend in sommige datacombinaties, stil in andere, en bovenal gevoelig voor welke supernovacatalogus met DESI wordt gekoppeld. De juiste houding is noch afwijzing, noch een te vroeg aangekondigde revolutie. Het is de volgende, grotere DESI-release — DR2, al verschenen in 2025 — en de onafhankelijke supernovasamples in de gaten houden, en zien of de verschuiving zich verstevigt of vervaagt. Zo ziet een oprecht misschien eruit in de kosmologie, en het verdient het om als een misschien te worden gerapporteerd.

Heldere samenvatting

DESI heeft de uitdijingsgeschiedenis van het universum gemeten met de beste baryonisch-akoestische meetlat ooit gebouwd, uit zes miljoen objecten. Op zichzelf komt die meetlat overeen met het standaardmodel waarin donkere energie een constante is. Combineer haar met de kosmische microgolfachtergrond en een supernovasample, en er ontstaat een voorkeur voor donkere energie die in de loop van de tijd verandert — op $2,6\sigma$ tot $3,9\sigma$, afhankelijk van welke supernova's je toevoegt. Dat is een echte en interessante aanwijzing, geen ontdekking: ze blijft onder de drempel die natuurkundigen eisen, en ze verschuift met de supernovadata waarmee je haar koppelt. Donkere energie zou kunnen evolueren. DESI heeft daar een vraag van gemaakt die het waard is om precies te stellen — nog geen vraag die het heeft beantwoord.

Bronnen

DESI Collaboration, arXiv:2404.03002 (published in JCAP)

<https://arxiv.org/abs/2404.03002>

DESI Collaboration, JCAP 02 (2025) 021, DOI 10.1088/1475-7516/2025/02/021

<https://doi.org/10.1088/1475-7516/2025/02/021>