



The CLEAN PAPER

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

DESI se skerpste kosmiese maatstok, en 'n versigtige miskien oor donker energie

DESI het die heelal se uitdyingsgeskiedenis gemeet met die mees presiese barionies-akoestiese maatstok wat nog gebou is, uit ses miljoen voorwerpe. Op sy eie stem daardie maatstok ooreen met die standaardmodel waarin donker energie 'n konstante is. Eers wanneer DESI met die kosmiese mikrogolfagtergrond en 'n supernovasteekproef gekombineer word, verskyn 'n voorkeur vir ontwikkelende donker energie — teen $2,6\sigma$ tot $3,9\sigma$ na gelang van watter supernovas bygevoeg word, onder die drempel wat fisici vir 'n ontdekking vereis en gevoelig vir die data waarmee dit gepaar word. 'n Werklike vraag wat presies gemaak is, nie 'n antwoord nie.

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

'n Maatstok van klank

Vroeg in die heelal, voordat daar sterre was, het die warm plasma van gewone materie en lig geklink. Drukgolwe het daardeur beweeg teen meer as die helfte van die spoed van lig, totdat die heelal genoeg afgekoel het dat atome kon vorm en die geklink opgehou het — en so is 'n dowwe voorkeurafstand in die verspreiding van materie vasgevries. Daardie afstand, die *klankhorison*, is vandag ongeveer 150 megaparsek (sowat 490 miljoen ligjare), en dit verskyn as 'n effense oormaat van sterrestelsels wat deur daardie span geskei word, in elke rigting en in elke tydvak. Kosmoloë noem dit die barioniese akoestiese ossillasie, of BAO, en hulle gebruik dit as 'n standaardmaatstok: meet hoe groot daardie gevriesde skaal aan die hemel op verskillende afstande lyk, en jy karteer hoe vinnig die heelal oor sy geskiedenis uitgedy het.

Die Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) is gebou om daardie maatstok beter te meet as wat enigiemand nog gedoen het. Sy eerste datavrstelling karteer die BAO-skaal in sterrestelsels, kwasars en die Lyman-alfa-woud van verre gaswolke — meer as ses miljoen voorwerpe, versprei oor sewe rooiverskuiwingsintervalle van rooiverskuiwing 0,1 tot 4,2. Om menslike verwagting uit die resultaat te hou, het die span die ontleding *blind* uitgevoer en die kosmologiese antwoord vir hulself weggesteek totdat die metodes vasgelê was. Dit is, met 'n groot voorsprong, die mees presiese BAO-meting wat nog gemaak is.



DESI is gemonteer op die Nicholas U. Mayall 4-meter-teleskoop by Kitt Peak, Arizona. Die instrument voer duisende optiese vesels na spektrograwe en verander posisies aan die hemel in spektra en rooiverskuiwings vir miljoene sterrestelsels en kwasars.

Wat is DESI

Die **Dark Energy Spectroscopic Instrument** is 'n spektrograaf op die Nicholas U. Mayall 4-meter-teleskoop by Kitt Peak, Arizona. Dit sien nie donker energie direk nie — niks kan nie, want donker energie gee geen lig af nie. In plaas daarvan teken dit die spektra van ongeveer 5 000 sterrestelsels en kwasars gelyktydig op, lees elke voorwerp se rooiverskuiwing af uit hoe die uitdyende heelal sy lig gerek het, en bou 'n driedimensionele kaart van miljoene van hulle. Donker energie word dan afgelei uit hoe daardie kaart wys dat kosmiese uitdying met verloop van tyd verander. Vir die volle ketting — van die robotvesels tot die akoestiese maatstok — sien Hoe DESI werk.

Die opskrif wat daarmee die wêreld ingegaan het, was dat donker energie dalk nie 'n konstante is nie — dat die geheimsinnige iets wat die heelal se uitdying versnel, met verloop van tyd kan *verswak*, en so die standaard kosmologiese model laat kraak. Daardie bewering is nie versin nie, maar dit is maklik om te veel daarin te lees. Die eerlike weergawe is meer spesifiek, en interessanter: DESI se eie maatstok, op sy eie, stem ooreen met die doodgewone standaardmodel. Die sweempie van iets nuuts verskyn eers wanneer jy DESI met ander data kombineer — en hoe sterk die sweempie lyk, hang af van watter ander data jy kies.

DESI se barionies-akoestiese maatstok is op sy eie bestaanbaar met 'n konstante donker energie ('n kosmologiese konstante). Die voorkeur vir *ontwikkende* donker energie kom eers na vore wanneer DESI met die kosmiese mikrogolfagtergrond en 'n supernovasteekproef gekombineer word — en sy sterkte verskuif na gelang van watter supernovasteekproef gebruik word.

Standaardmaatstok, en die twee maniere waarop donker energie kan varieer

Die BAO-skaal is 'n *standaardmaatstok*: omdat ons sy ware lengte uit die fisika van die vroeë heelal ken, vertel die vergelyking van sy ware lengte met sy skynbare grootte op 'n gegewe afstand ons hoeveel die heelal teen daardie tyd uitgedy het. Oor baie afstande gemeet, teken die maatstok die hele uitdyingsgeskiedenis na — en dit is presies wat donker energie beheer. In die standaardmodel, Λ CDM genoem, is donker energie 'n *kosmologiese konstante*: 'n vaste energiedigtheid van leë ruimte wat nooit verander nie. Fisici benoem sy gedrag met 'n parameter van die “toestandsvergelyking”, w , wat vir 'n ware kosmologiese konstante presies -1 is, oral en altyd.

Om dit te toets, kan jy dit op twee maniere verslap. Die eenvoudiger een is om w 'n ander konstante te laat wees (steeds vas in tyd) — dit is “wCDM”. Die ryker een is om w te laat verander namate die heelal uitdy, beskryf deur twee getalle: w_0 , sy waarde vandag, en w_a , hoe vinnig dit dryf. Hierdie “ w_0w_a CDM”-model reduceer tot Λ CDM by die enkele punt $w_0 = -1$, $w_a = 0$. 'n Voorkeur vir w_0 groter as -1 met 'n negatiewe w_a is wat “ontwikkende donker energie” hier beteken: donker energie wat in die verlede meer afstotend was en nou aan die afneem is.

Wat die outeurs gedoen het

- Die BAO-skaal gemeet uit DESI se eerste jaar se data — sterrestelsels, kwasars en die Lyman-alfawoud — meer as ses miljoen voorwerpe in sewe rooiverskuiwingsintervalle oor $0,1 < z < 4,2$.
- Die ontleding **blind** uitgevoer, met die kosmologiese resultaat verborge totdat die metodologie vasgestel was, om teen bevestigingsvooroordeel te waak.
- Die standaard plat Λ CDM-model gepas op DESI-BAO alleen, en daarna in kombinasie met 'n oerknal-nukleosintese-prior en die kosmiese mikrogolfagtergrond (CMB) van Planck en ACT.
- Die model op twee maniere uitgebrei: 'n konstante donker-energie- w (w CDM), en 'n tydveranderlike w_0w_a (w_0w_a CDM).
- Die tydveranderlike model getoets deur DESI+CMB om die beurt met drie verskillende samestellings van tipe Ia-supernovas te kombineer — Pantheon+, Union3 en DES-SN5YR — eerder as om een te kies.
- Grense geplaas op die gesommeerde massa van die neutrino's, en nagegaan hoe daardie grense skuif as die donker-energie-agtergrond toegelaat word om te varieer.

Wat hulle gevind het

- **DESI-BAO alleen is bestaanbaar met die standaardmodel.** Dit gee 'n materiedigtheid $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$, en, wanneer donker energie 'n konstante w toegelaat word, $w = -0,99 (+0,15/-0,13)$ — reg op die kosmologiese-konstante-waarde van -1 .
- Gekombineer met die CMB en sy lenswerking gee DESI $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ en 'n Hubble-konstante $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ wanneer dit eerder met nukleosintese en die CMB se akoestiese skaal gepaar word).
- **In die tydveranderlike model verkies die kombinasies ontwikkelende donker energie** — $w_0 > -1$ en $w_a < 0$. Die voorkeur is $2,6\sigma$ vir DESI+CMB, en wanneer 'n supernovasteekproef bygevoeg word, word dit $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ of $3,9\sigma$ vir onderskeidelik Pantheon+, Union3 of DES-SN5YR (sigma meet hoe ver 'n resultaat van die standaardmodel-verwachting af lê; 5σ is die gebruikelike drempel vir 'n aangevoerde ontdekking, en dit is nie 'n stelling dat die interpretasie korrek is nie — gids).
- Vry gelaat, word die gesommeerde neutrinomassa styf begrens — onder $0,072 \text{ eV}$ (95% vertroue) vir DESI+CMB — maar die artikel is uitdruklik daaroor dat hierdie grens aansienlik verslap as die donker-energie-agtergrond toegelaat word om van Λ CDM af te wyk.

Wat dit nie bewys nie

- Dit wys **nie** dat donker energie aan die ontwikkel is nie. DESI se eie maatstok is bestaanbaar met 'n kosmologiese konstante; die sweempie van ontwikkeling verskyn slegs in *gekombineerde* passings, en slegs in die ryker tweeparametermodel.
- Dit beteken **nie** “ Λ CDM is dood” of “Einstein was verkeerd” nie. Die sterkste getal, $3,9\sigma$, is onder die 5σ -konvensie wat fisici vereis voordat hulle iets 'n ontdekking noem — en die standaardmodel

bly 'n goeie passing vir DESI alleen.

- Die resultaat is **nie** steekproef-onafhanklik nie. Om die supernova-samestelling om te ruil, skuif die beduidendheid van $2,5\sigma$ na $3,9\sigma$ — meer as 'n volle sigma. 'n Sein waarvan die grootte só afhang van watter eksterne datastel jy aanheg, is 'n sweempie om na te jaag, nie 'n meting om weg te bêre nie.
- Die neiging van DESI *alleen* na $w_0 > -1$ word **deels deur 'n enkele afwykende punt** gedryf — die sterrestelsel-interval by rooiverskuiwing 0,51, wat effens hoog lê teenoor Λ CDM. Maar dit is waar die artikel sy huiswerk doen: dit behandel daardie punt as 'n statistiese fluktuasie, en wys dat die vervanging van *al* DESI se lae-rooiverskuiwing-metings ($z < 0,6$) met die ouer SDSS-metings die donker-energie-resultaat onveranderd laat. Die vreemde punt trek aan DESI op sy eie; dit stut **nie** die gekombineerde sweempie nie. (Onafhanklike groepe het sedertdien sy rol deegliker ondersoek.) Hierdie voorbehoud sny dus in die teenoorgestelde rigting as wat dit soms vertel word: die resultaat is teen sy mees afwykende data aan 'n strestoets onderwerp, en het staande gebly.
- Die neutrinomassa-grens is **nie** 'n model-onafhanklike uitspraak nie. Dit is slegs styf as die agtergronduitdying aan Λ CDM gehou word; verslap dit, en die grens verslap saam.

Hoe sterk is die getuienis

- **Baie sterk as 'n afstandsmeting.** Die BAO-maatstok is een van die skoonste gereedskappe in die kosmologie, DESI s'n is die mees presiese tot dusver, en die blinde ontleding is presies die voorsorg wat jy wil hê teen die inlees van 'n gehoopte antwoord in die data.
- **Werklik prikkelend, maar nie deurslaggewend nie, as 'n donker-energie-aanspraak.** 'n Voorkeur van $2,6\sigma$ uit DESI+CMB, wat tot $3,9\sigma$ styg met die mees beperkende supernovastel, is die soort resultaat wat meer teleskopyd verdien — nie die soort wat 'n model omverwerp nie. Die eerlike rede vir versigtigheid is die verspreiding oor supernovasteekproewe; tot hul eer het die outeurs ook nagegaan dat hul enkele mees afwykende BAO-punt nie die resultaat dryf nie — presies die huiswerk wat 'n aanspraak soos hierdie nodig het.
- Die artikel is versigtig met homself: dit rapporteer die beduidendheid op drie maniere eerder as om die grootste aan te haal, en dit wys op die modelafhanklikheid van sy neutrino-resultaat. Die oordrywing, waar dit bestaan, lê in die oorvertelling, nie in die artikel nie.

Waarom dit saak maak

Vir 'n kwarteeu is “donker energie” en “kosmologiese konstante” byna uitruilbaar gebruik, omdat elke meting bestaanbaar was met 'n w van presies -1 . DESI is die eerste datastel wat presies genoeg is dat dit, gekombineer met ander, selfs kan *vra* of daardie -1 dryf — en 'n antwoord kan kry wat nie 'n plat nee is nie. Dit is 'n werklike verskuiwing in wat die data kan doen, en dit is waarom die resultaat aandag verdien. Maar dieselfde presisie is wat ons laat sien hoe voorwaardelik die sweempie is: lewendig in sommige datakombinasies, stil in ander, en bowenal gevoelig vir watter supernovakatalogus met DESI gepaar word. Die regte houding is nóg verwerping nóg 'n revolusie wat te vroeg

aangekondig word. Dit is om die volgende, groter DESI-vrystelling — DR2, reeds in 2025 uitgereik — en die onafhanklike supernovasteekproewe dop te hou, en te kyk of die drywing vaster word of vervaag. Dit is hoe 'n egte miskien in die kosmologie lyk, en dit is die moeite werd om as 'n miskien gerapporteer te word.

Kortliks

DESI het die heelal se uitdyingsgeskiedenis gemeet met die beste barionies-akoestiese maatstok wat nog gebou is, uit ses miljoen voorwerpe. Op sy eie stem daardie maatstok ooreen met die standaard-model waarin donker energie 'n konstante is. Combineer dit met die kosmiese mikrogolfagtergrond en 'n supernovasteekproef, en 'n voorkeur kom na vore vir donker energie wat met tyd verander — teen $2,6\sigma$ tot $3,9\sigma$, na gelang van watter supernovas jy byvoeg. Dit is 'n werklike en interessante sweempie, nie 'n ontdekking nie: dit bly onder die drempel wat fisici vereis, en dit verskuif saam met watter supernovadata jy daarmee paar. Donker energie mag dalk aan die ontwikkel wees. DESI het dit 'n vraag gemaak wat die moeite werd is om presies te vra — nog nie 'n vraag wat dit beantwoord het nie.

Bronne

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>