



The CLEAN PAPER

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

DESI's skarpaste kosmiska måttstock, och ett försiktigt kanske om mörk energi

DESI har mätt universums expansionshistoria med den mest precisa akustiska baryonmåttstock som hittills byggts, från sex miljoner objekt. På egen hand överensstämmer den måttstocken med standardmodellen där mörk energi är en konstant. Först när DESI kombineras med den kosmiska bakgrundsstrålningen och ett supernovaurval framträder en preferens för föränderlig mörk energi — på $2,6\sigma$ till $3,9\sigma$ beroende på vilka supernovor som läggs till, under tröskeln fysiker kräver för en upptäckt och känslig för vilken data den paras med. En verklig fråga gjord precis, inte ett svar.

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

En måttstock av ljud

Tidigt i universum, innan det fanns stjärnor, ringde den heta plasman av vanlig materia och ljus. Tryckvågor löpte genom den med mer än halva ljushastigheten, tills universum svalnade tillräckligt för att atomer skulle kunna bildas och ringandet upphörde – och frös fast ett svagt föredraget avstånd i materiens fördelning. Det avståndet, *ljudhorisonten*, är omkring 150 megaparsec (ungefär 490 miljoner ljusår) idag, och det visar sig som ett litet överskott av galaxer separerade med det avståndet, i alla riktningar och vid varje epok. Kosmologer kallar det baryonisk akustisk oscillation, eller BAO, och de använder det som en standardmåttstock: mät hur stor den frusna skalan ser ut på himlen på olika avstånd, och du kartlägger hur snabbt universum har expanderat genom sin historia.

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) byggdes för att mäta den måttstocken bättre än någon annan har gjort. Dess första datasläpp kartlägger BAO-skalan i galaxer, kvasarer och Lyman-alfa-skogen av avlägsna gasmoln – över sex miljoner objekt, spridda över sju rödförskjutningsintervall från rödförskjutning 0,1 till 4,2. För att hålla mänskliga förväntningar borta från resultatet körde teamet analysen *blint*, och dolde det kosmologiska svaret för sig själva tills metoderna var låsta. Det är, med bred marginal, den mest precisa BAO-mätning som gjorts.



DESI är monterat på Nicholas U. Mayall 4-metersteleskop vid Kitt Peak, Arizona. Instrumentet matar tusentals optiska fibrer in i spektrografer, och omvandlar positioner på himlen till spektrum och rödförskjutningar för miljontals galaxer och kvasarer.

Vad är DESI

Dark Energy Spectroscopic Instrument är en spektrograf på Nicholas U. Mayall 4-metersteleskop vid Kitt Peak, Arizona. Det ser inte mörk energi direkt — inget kan göra det, eftersom mörk energi inte avger något ljus. Istället registrerar det spektrumet för omkring 5 000 galaxer och kvasarer samtidigt, läser av varje objekts rödförskjutning utifrån hur det expanderande universum har sträckt ut dess ljus, och bygger en tredimensionell karta över miljontals av dem. Mörk energi härleds sedan från hur den kartan visar att den kosmiska expansionen förändras över tid. För hela kedjan — från de robotstyrda fibrerna till den akustiska måttstocken — se Så fungerar DESI.

Rubriken som spreds från detta var att mörk energi kanske inte är en konstant — att det mystiska som accelererar universums expansion kan *försvagas* över tid, vilket skulle spräcka den kosmologiska standardmodellen. Det påståendet är inte hittepå, men det är lätt att övertolka. Den ärliga versionen är mer specifik, och mer intressant: DESIs egen måttstock, på egen hand, överensstämmer med standardmodellen i sin enklaste form. Antydning om något nytt visar sig bara när man kombinerar DESI med annan data — och hur stark antydning ser ut beror på vilken annan data man väljer.

DESI:s akustiska baryonmåttstock är på egen hand förenlig med konstant mörk energi (en kosmologisk konstant). Preferensen för *föränderlig* mörk energi framträder bara när DESI kombineras med den kosmiska bakgrundsstrålningen och ett supernovaurval — och dess styrka skiftar med vilket supernovaurval som används.

Standardmåttstock, och de två sätt mörk energi kan variera på

BAO-skalan är en *standardmåttstock*: eftersom vi känner till dess sanna längd utifrån fysiken i det tidiga universum, berättar en jämförelse mellan dess sanna längd och dess skenbara storlek på ett givet avstånd hur mycket universum hade expanderat vid den tidpunkten. Uppmätt över många avstånd spårar måttstocken hela expansionshistorien — vilket är det mörk energi styr.

I standardmodellen, kallad Λ CDM, är mörk energi en *kosmologisk konstant*: en fast energitäthet i tomma rymden som aldrig förändras. Fysiker märker dess beteende med en "tillståndsekvation"-parameter, w , som för en sann kosmologisk konstant är exakt -1 , överallt och alltid.

För att testa det kan man lätta på det på två sätt. Det enklare är att låta w vara någon annan konstant (fortfarande fast i tiden) — detta är " w CDM." Det rikare är att låta w förändras när universum expanderar, beskrivet med två tal: w_0 , dess värde idag, och w_a , hur snabbt det driver. Denna " w_0w_a CDM"-modell reduceras till Λ CDM vid den enda punkten $w_0 = -1$, $w_a = 0$. En preferens för w_0 större än -1 med w_a negativt är vad "föränderlig mörk energi" betyder här: mörk energi som var mer repulsiv förr och som mattas av nu.

Vad författarna gjorde

- Mätte BAO-skalan från DESIs första års data — galaxer, kvasarar och Lyman-alfa-skogen — över sex miljoner objekt i sju rödförskjutningsintervall som sträcker sig $0,1 < z < 4,2$.
- Körde analysen **blint**, och dolde det kosmologiska resultatet tills metodiken var fastställd, för att skydda mot bekräftelsebias.
- Anpassade den platta standardmodellen Λ CDM till enbart DESI BAO, och sedan i kombination med ett big bang-nukleosyntes-antagande och den kosmiska bakgrundsstrålningen (CMB) från Planck och ACT.
- Utökade modellen på två sätt: en konstant mörk energi- w (w CDM), och en tidsvarierande w_0w_a (w_0w_a CDM).
- Testade den tidsvarierande modellen genom att i tur och ordning kombinera DESI+CMB med tre olika typ Ia-supernovasamlingar — Pantheon+, Union3 och DES-SN5YR — istället för att välja en enda.
- Satte gränser för neutronernas summerade massa, och kontrollerade hur dessa gränser förändras om bakgrunden för mörk energi tillåts variera.

Vad de fann

- **DESI BAO ensamma är förenliga med standardmodellen.** De ger en materietäthet $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$, och när mörk energi tillåts en konstant w , $w = -0,99 (+0,15/-0,13)$ — precis på det kosmologiska konstantvärdet -1 .
- Kombinerat med CMB och dess linsning ger DESI $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ och en Hubblekonstant $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ när det paras med nukleosyntes och CMB:s akustiska skala istället).
- **I den tidsvarierande modellen föredrar kombinationerna föränderlig mörk energi** — $w_0 > -1$ och $w_a < 0$. Preferensen är $2,6\sigma$ för DESI+CMB, och när ett supernovaurval läggs till blir det $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ eller $3,9\sigma$ för Pantheon+, Union3 respektive DES-SN5YR (sigma mäter hur långt ett resultat ligger från standardmodellens förväntan; 5σ är den vanliga tröskeln för en hävdad upptäckt, och det är inte ett påstående om att tolkningen är korrekt — guide).
- Lämnad fri är den summerade neutronmassan snävt begränsad — under $0,072 \text{ eV}$ (95 % konfidens) för DESI+CMB — men artikeln är tydlig med att denna gräns lättar avsevärt om bakgrunden för mörk energi tillåts avvika från Λ CDM.

Vad detta inte bevisar

- Det visar **inte** att mörk energi är föränderlig. DESIs egen måttstock är förenlig med en kosmologisk konstant; antydning om förändring visar sig bara i *kombinerade* anpassningar, och bara i den rikare tvåparametermodellen.
- Det betyder **inte** “ Λ CDM är dött” eller “Einstein hade fel.” Det starkaste talet, $3,9\sigma$, ligger under

den 5σ -konvention fysiker kräver innan man kallar något en upptäckt — och standardmodellen förblir en god anpassning till enbart DESI.

- Resultatet är **inte** oberoende av urval. Att byta supernovasamling flyttar signifikansen från $2,5\sigma$ till $3,9\sigma$ — mer än en hel sigma. En signal vars storlek beror så mycket på vilken extern datamängd man lägger till är en antydning att följa upp, inte en mätning att lita på.
- DESI-ensamt-lutningen mot $w_0 > -1$ drivs **delvis av en enda avvikande punkt** — galaxbinet vid rödförskjutning 0,51, som ligger något högt mot Λ CDM. Men det är här artikeln gör sin hemläxa: den behandlar den punkten som en statistisk fluktuation, och visar att om man ersätter *alla* DESIs lågrödförskjutna ($z < 0,6$) mätningar med de äldre SDSS-mätningarna förblir resultatet för mörk energi oförändrat. Den avvikande punkten drar i DESI ensamt; den stödjer **inte** den kombinerade antydningen. (Oberoende grupper har sedan dess granskat dess roll noggrannare.) Så denna reservation slår åt motsatt håll mot hur den ibland berättas: resultatet stresstestades mot sin mest avvikande data, och höll.
- Neutrinomassbegränsningen är **inte** en modelloberoende dom. Den är stram bara om bakgrundsexpansionen hålls fast vid Λ CDM; lätta på det, och gränsen lättar med den.

Hur starka är beläggen

- **Mycket starka som avståndsmätning.** BAO-måttstocken är ett av de renaste verktygen i kosmologin, DESIs är den mest precisa hittills, och den blinda analysen är precis det skydd man vill ha mot att läsa in ett önskat svar i datan.
- **Genuint intressant, men inte avgörande, som ett påstående om mörk energi.** En preferens på $2,6\sigma$ från DESI+CMB, som stiger till $3,9\sigma$ med det mest begränsande supernovaurvalet, är den sortens resultat som förtjänar mer teleskoptid — inte den sortens som omkullkastar en modell. Det ärliga skälet till försiktighet är spridningen mellan supernovaurvalen; till sin heder kontrollerade författarna också att deras enskilt mest avvikande BAO-punkt inte driver resultatet — precis den hemläxa ett sådant påstående behöver.
- Artikeln är noggrann med sig själv: den redovisar signifikansen på tre sätt istället för att bara ange den största, och den flaggar modellberoendet i sitt neutrinoresultat. Övertolkningen, där den finns, är i återberättandet, inte i artikeln.

Varför det spelar roll

I ett kvartssekel har “mörk energi” och “kosmologisk konstant” använts nästan synonymt, eftersom varje mätning var förenlig med ett w på exakt -1 . DESI är den första datamängd som är precis nog för att, kombinerad med andra, till och med kunna *fråga* om det där -1 driver — och få ett svar som inte är ett rakt nej. Det är ett verkligt skifte i vad datan kan göra, och det är därför resultatet förtjänar uppmärksamhet. Men samma precision är det som låter oss se hur villkorad antydning är: levande i vissa datakombinationer, tyst i andra, och känslig framför allt för vilken supernovakatalog som paras med DESI. Den rätta hållningen är varken avfärdande eller en revolution utropad för tidigt. Det är att bevaka nästa, större DESI-släpp — DR2, redan ute 2025 — och de oberoende supernovaurvalen, och

se om driften stärks eller avtar. Det här är vad ett genuint kanske ser ut som inom kosmologin, och det är värt att rapportera som ett kanske.

Kort sammanfattning

DESI har mätt universums expansionshistoria med den bästa akustiska baryonmåttstock som hittills byggts, från sex miljoner objekt. På egen hand överensstämmer den måttstocken med standardmodellen där mörk energi är en konstant. Kombinera den med den kosmiska bakgrundsstrålningen och ett supernovaurval, och en preferens framträder för mörk energi som förändras över tid — på $2,6\sigma$ till $3,9\sigma$, beroende på vilka supernovor man lägger till. Det är en verklig och intressant antydning, inte en upptäckt: den ligger under tröskeln fysiker kräver, och den skiftar med vilken supernovadata man paras med. Mörk energi kan vara föränderlig. DESI har gjort det till en fråga värd att ställa precis — inte ännu en fråga det har besvarat.

Källor

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>