



The CLEAN PAPER

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

Cea mai ascuțită riglă cosmică a DESI și un poate atent despre energia întunecată

DESI a măsurat istoria expansiunii universului cu cea mai precisă riglă barionic-acustică construită până acum, din șase milioane de obiecte. Singură, acea riglă este de acord cu modelul standard în care energia întunecată este o constantă. Doar când DESI este combinat cu fondul cosmic de microunde și un eșantion de supernove apare o preferință pentru energie întunecată evolutivă - la $2,6\sigma$ până la $3,9\sigma$ în funcție de ce supernove sunt adăugate, sub pragul pe care fizicienii îl cer pentru o descoperire și sensibilă la datele cu care este asociată. O întrebare reală făcută precisă, nu un răspuns.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · 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

O riglă făcută din sunet

La începutul universului, înainte să existe stele, plasma fierbinte de materie obișnuită și lumină răsună. Unde de presiune treceau prin ea cu mai mult de jumătate din viteza luminii, până când universul s-a răcit suficient pentru a se forma atomi și răsunetul s-a oprit, înghețând o distanță preferată slabă în distribuția materiei. Acea distanță, *orizontul sonor*, este astăzi de aproximativ 150 de megaparseci (aproximativ 490 de milioane de ani-lumină) și apare ca un mic exces de galaxii separate de acea scară, în fiecare direcție și la fiecare epocă. Cosmologii o numesc oscilație acustică barionică, sau BAO, și o folosesc ca riglă standard: măsori cât de mare arată acea scară înghețată pe cer la distanțe diferite și cartografiezi cât de repede s-a extins universul de-a lungul istoriei sale.

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) a fost construit pentru a măsura acea riglă mai bine decât oricine. Primul său release de date mapează scala BAO în galaxii, quasari și pădurea Lyman-alpha a norilor îndepărtați de gaz: peste șase milioane de obiecte, distribuite în șapte bin-uri de redshift de la 0,1 la 4,2. Pentru a ține așteptările umane în afara rezultatului, echipa a rulat analiza *blind*, ascunzându-și răspunsul cosmologic până când metodele au fost fixate. Este, de departe, cea mai precisă măsurare BAO făcută.



DESI este montat pe telescopul Nicholas U. Mayall de 4 metri de la Kitt Peak, Arizona. Instrumentul trimite mii de fibre optice în spectrografe, transformând poziții pe cer în spectre și redshifturi pentru milioane de galaxii și quasari.

Ce este DESI

Dark Energy Spectroscopic Instrument este un spectrograf pe telescopul Nicholas U. Mayall de 4 metri de la Kitt Peak, Arizona. Nu vede direct energia întunecată - nimic nu poate, pentru că energia întunecată nu emite lumină. În schimb, înregistrează spectrele a aproximativ 5.000 de galaxii și quasari deodată, citește redshiftul fiecărui obiect din felul în care expansiunea universului i-a întins lumina și construiește o hartă tridimensională a milioane dintre ele. Energia întunecată este apoi inferată din felul în care acea hartă arată schimbarea expansiunii cosmice în timp. Pentru lanțul complet - de la fibrele robotice la rigla acustică - vezi *How DESI works*.

Titlul care a circulat din asta a fost că energia întunecată s-ar putea să nu fie o constantă: că lucrul misterios care accelerează expansiunea universului ar putea *slăbi* în timp, crăpând modelul cosmologic standard. Această afirmație nu este inventată, dar este ușor de supracitit. Versiunea onestă este mai specifică și mai interesantă: rigla DESI, singură, este de acord cu modelul cel mai simplu. Indiciul de ceva nou apare doar când combini DESI cu alte date - iar cât de puternic pare indiciul depinde de ce alte date alegi.

Rigla barionic-acustică a DESI, singură, este compatibilă cu o energie întunecată constantă (o constantă cosmologică). Preferința pentru energie întunecată *evolutivă* apare doar când DESI este combinat cu fondul cosmic de microunde și un eșantion de supernove, iar forța ei se schimbă în funcție de eșantionul de supernove folosit.

Riglă standard și cele două moduri în care energia întunecată poate varia

Scara BAO este o *riglă standard*: deoarece îi știm lungimea reală din fizica universului timpuriu, compararea lungimii reale cu dimensiunea ei aparentă la o anumită distanță ne spune cât se extinsese universul până atunci. Măsurată la multe distanțe, rigla trasează întreaga istorie a expansiunii - ceea ce guvernează energia întunecată.

În modelul standard, numit Λ CDM, energia întunecată este o *constantă cosmologică*: o densitate fixă de energie a spațiului gol care nu se schimbă niciodată. Fizicienii îi etichetează comportamentul cu un parametru al „ecuației de stare”, w , care pentru o constantă cosmologică adevărată este exact -1 , peste tot și întotdeauna.

Pentru a testa asta, îl poți relaxa în două moduri. Cel mai simplu este să lași w să fie o altă constantă (tot fixă în timp): acesta este „ w CDM”. Cel mai bogat este să lași w să se schimbe pe măsură ce universul se extinde, descris de două numere: w_0 , valoarea lui astăzi, și w_a , cât de repede derivă. Acest model „ $w_0 w_a$ CDM” se reduce la Λ CDM în punctul unic $w_0 = -1$, $w_a = 0$. O preferință pentru w_0 mai mare decât -1 cu w_a negativ este ceea ce înseamnă aici „energie întunecată evolutivă”: energie întunecată care a fost mai repulsivă în trecut și se domolește acum.

Ce au făcut autorii

- Au măsurat scara BAO din primul an de date DESI - galaxii, quasari și pădurea Lyman-alpha - pe peste șase milioane de obiecte în șapte bin-uri de redshift care acoperă $0,1 < z < 4,2$.
- Au rulat analiza **blind**, ascunzând rezultatul cosmologic până când metodologia a fost fixată, pentru a se proteja de biasul de confirmare.
- Au potrivit modelul standard plat Λ CDM la BAO DESI singur, apoi în combinație cu un prior de nucleosinteză Big Bang și cu fondul cosmic de microunde (CMB) de la Planck și ACT.
- Au extins modelul în două moduri: o w constantă a energiei întunecate (w CDM) și o $w_0 w_a$ variabilă în timp ($w_0 w_a$ CDM).
- Au testat modelul variabil în timp combinând DESI+CMB cu trei compilații diferite de supernove de tip Ia, pe rând - Pantheon+, Union3 și DES-SN5YR - în loc să aleagă una.
- Au pus limite pe masa totală a neutrinilor și au verificat cum se mișcă acele limite dacă fundalul de energie întunecată este lăsat să varieze.

Ce au găsit

- **BAO DESI singure sunt compatibile cu modelul standard.** Dau o densitate a materiei $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$ și, când energiei întunecate i se permite o w constantă, $w = -0,99 (+0,15/-0,13)$: exact pe valoarea constantei cosmologice -1 .
- Combinat cu CMB și lensingul său, DESI dă $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ și o constantă Hubble $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ când este asociat cu nucleosinteza și scara acustică a CMB).
- **În modelul variabil în timp, combinațiile preferă energie întunecată evolutivă:** $w_0 > -1$ și $w_a < 0$. Preferința este $2,6\sigma$ pentru DESI+CMB, iar când se adaugă un eșantion de supernove devine $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ sau $3,9\sigma$ pentru Pantheon+, Union3 sau DES-SN5YR (sigma măsoară cât de departe stă un rezultat de așteptarea modelului standard; 5σ este pragul obișnuit pentru o descoperire revendicată și nu este o afirmație că interpretarea este corectă — ghid).
- Lăsată liberă, masa totală a neutrinilor este constrânsă strâns - sub $0,072 \text{ eV}$ (95% încredere) pentru DESI+CMB - dar articolul spune explicit că această limită se relaxează substanțial dacă fundalului de energie întunecată i se permite să se abată de la Λ CDM.

Ce nu dovedește

- **Nu** arată că energia întunecată evoluează. Rigla DESI este compatibilă cu o constantă cosmologică; indiciul de evoluție apare doar în futuri *combinate* și doar în modelul mai bogat cu doi parametri.
- **Nu** înseamnă „ Λ CDM este mort” sau „Einstein a greșit”. Cel mai puternic număr, $3,9\sigma$, este sub convenția de 5σ cerută de fizicieni înainte de a numi ceva descoperire, iar modelul standard rămâne un fit bun la DESI singur.
- Rezultatul **nu** este independent de eșantion. Schimbarea compilației de supernove mută semnificația de la $2,5\sigma$ la $3,9\sigma$: mai mult de un sigma întreg. Un semnal a cărui mărime depinde atât de

mult de datasetul extern pe care îl atașezi este un indiciu de urmărit, nu o măsurătoare de pus în bancă.

- Înclinarea DESI *singur* spre $w_0 > -1$ este condusă **parțial de un singur punct anomal**: bin-ul de galaxii la redshift 0,51, care stă puțin sus față de Λ CDM. Dar aici articolul își face temele: tratează acel punct ca fluctuație statistică și arată că înlocuirea *tuturor* măsurătorilor DESI la redshift mic ($z < 0,6$) cu cele mai vechi SDSS lasă rezultatul despre energia întunecată neschimbat. Punctul ciudat trage DESI singur; **nu** susține indiciul combinat. (Grupuri independente i-au analizat de atunci mai atent rolul.) Așadar, acest caveat taie invers față de cum este uneori povestit: rezultatul a fost stress-testat împotriva celui mai anomal punct al său și a rezistat.
- Limita pe masa neutrinilor **nu** este un verdict independent de model. Este strânsă doar dacă expansiunea de fundal este ținută la Λ CDM; relaxează asta, și limita se relaxează împreună cu ea.

Cât de puternică este evidența

- **Foarte puternică drept măsurătoare de distanță.** Rigla BAO este unul dintre cele mai curate instrumente din cosmologie, cea a DESI este cea mai precisă de până acum, iar analiza blind este exact protecția pe care o vrei împotriva citirii în date a unui răspuns sperat.
- **Cu adevărat intrigantă, dar nu decisivă, ca afirmație despre energia întunecată.** O preferință de $2,6\sigma$ din DESI+CMB, crescând la $3,9\sigma$ cu setul de supernove cel mai constrângător, este genul de rezultat care merită mai mult timp de telescop, nu genul care răstoarnă un model. Motivul onest pentru prudență este răspândirea între eșantioanele de supernove; spre meritul lor, autorii au verificat și că singurul lor punct BAO cel mai anomal nu conduce rezultatul - exact tema pe care o cere o afirmație ca aceasta.
- Articolul este atent cu el însuși: raportează semnificația în trei feluri, nu doar pe cea mai mare, și marchează dependența de model a rezultatului despre neutrini. Exagerarea, acolo unde există, este în repovestire, nu în articol.

De ce contează

De un sfert de secol, „energie întunecată” și „constantă cosmologică” au fost folosite aproape interschimbabil, pentru că fiecare măsurătoare era compatibilă cu un w exact -1 . DESI este primul dataset suficient de precis încât, combinat cu altele, poate chiar *întreba* dacă acel -1 derivează - și poate primi un răspuns care nu este un nu plat. Este o schimbare reală în ce pot face datele, și de aceea rezultatul merită atenție. Dar aceeași precizie ne lasă să vedem cât de condiționat este indiciul: viu în unele combinații de date, tăcut în altele, și sensibil mai ales la ce catalog de supernove este asociat cu DESI. Poziția corectă nu este nici respingere, nici revoluție anunțată devreme. Este să urmărim următorul release DESI, mai mare - DR2, deja apărut în 2025 - și eșantioanele independente de supernove, și să vedem dacă deriva se întărește sau se stinge. Așa arată un „poate” autentic în cosmologie, și merită raportat ca un poate.

Sinteză curată

DESI a măsurat istoria expansiunii universului cu cea mai bună riglă barionic-acustică construită până acum, din șase milioane de obiecte. Singură, acea riglă este de acord cu modelul standard în care energia întunecată este o constantă. Combin-o cu fondul cosmic de microunde și un eșantion de supernove, și apare o preferință pentru energie întunecată care se schimbă în timp - la $2,6\sigma$ până la $3,9\sigma$, în funcție de ce supernove adaugi. Este un indiciu real și interesant, nu o descoperire: rămâne sub pragul cerut de fizicieni și se mișcă în funcție de datele de supernove cu care îl asociezi. Energia întunecată ar putea evolua. DESI a făcut din asta o întrebare care merită pusă precis - nu încă una la care a răspuns.

Sources

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>