The Clean Paper

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

DESI e ka matur universin me vizoren e tij më të mirë. Shenja e energjisë së errët që ndryshon vjen vetëm kur shtohen të dhëna të tjera.

Matja BAO e vitit të parë të DESI-t, me mbi gjashtë milionë objekte, është matja më e saktë e këtij lloji dhe më vete pajtohet me ΛCDM dhe energji të errët konstante. Preferenca për energji të errët që evoluon shfaqet vetëm kur DESI kombinohet me CMB dhe supernova, me rëndësi që ndryshon nga 2.5σ në 3.9σ sipas kampionit. Është një sinjal serioz për t'u ndjekur, jo zbulim dhe jo vdekje e modelit standard.

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

Një vizore e bërë nga tingulli

Në universin e hershëm, para se të kishte yje, plazma e nxehtë e materies së zakonshme dhe dritës "kumboi". Valë presioni përshkuan atë me më shumë se gjysmën e shpejtësisë së dritës, derisa universi u ftoh aq sa të formoheshin atomet dhe kumbimi u ndal — duke ngrirë një distancë paksa të preferuar në shpërndarjen e materies. Kjo distancë, *horizonti zanor*, është sot rreth 150 megaparsekë (afërsisht 490 milionë vite-dritë) dhe shfaqet si një tepricë e vogël galaktikash të ndara me këtë largësi, në çdo drejtim dhe epokë. Kozmologët e quajnë oscilacion akustik barionik, ose BAO, dhe e përdorin si vizore standarde: mat sa e madhe duket kjo shkallë e ngrirë në qiell në largësi të ndryshme dhe mund të rindërtosh sa shpejt është zgjeruar universi gjatë historisë së tij.

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) u ndërtua për ta matur këtë vizore më mirë se kushdo më parë. Publikimi i parë i të dhënave mat shkallën BAO në galaktika, kuazarë dhe në pyllin Lyman-alpha të reve të largëta të gazit — mbi gjashtë milionë objekte, në shtatë intervale redshift nga 0.1 në 4.2. Për të mbajtur pritshmëritë njerëzore larg rezultatit, ekipi e kreu analizën *të verbër*, duke ia fshehur vetes përgjigjen kozmologjike derisa metodat të ishin fiksuar. Me diferencë të madhe, kjo është matja më e saktë BAO e bërë deri tani.

DESI është montuar në teleskopin 4-metërsh Nicholas U. Mayall në Kitt Peak, Arizona. Instrumenti dërgon dritën nga mijëra fibra optike në spektrografë, duke kthyer pozicionet në qiell në spektre dhe redshift-e për miliona galaktika e kuazarë.

KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/P. Marenfeld CC BY 4.0

Çfarë është DESI

Dark Energy Spectroscopic Instrument është një spektrograf në teleskopin 4-metërsh Nicholas U. Mayall në Kitt Peak, Arizona. Ai nuk e sheh drejtpërdrejt energjinë e errët — asgjë nuk mund ta bëjë këtë, sepse energjia e errët nuk lëshon dritë. Në vend të kësaj, ai regjistron njëherësh spektrat e rreth 5,000 galaktikave dhe kuazarëve, lexon redshift-in e secilit objekt nga mënyra si zgjerimi i universit ia ka shtrirë dritën dhe ndërton një hartë tredimensionale të miliona objekteve. Energjia e errët nxirret më pas nga mënyra si kjo hartë tregon ndryshimin e zgjerimit kozmik me kohën. Për gjithë zinxhirin — nga fibrat robotike te vizorja akustike — shih Si funksionon DESI.

Titulli që qarkulloi më shumë ishte se energjia e errët mund të mos jetë konstante — se gjëja misterioze që përshpejton zgjerimin e universit mund të jetë duke u *dobësuar* me kohën, duke çarë modelin standard kozmologjik. Ky pretendim nuk është i sajuar, por lehtë mund të lexohet më fort nga sa lejojnë të dhënat. Versioni i ndershëm është më i saktë dhe më interesant: vizorja e DESI-t, e marrë më vete, pajtohet me modelin standard. Shenja e diçkaje të re shfaqet vetëm kur DESI kombinohet me të dhëna të tjera — dhe forca e saj ndryshon sipas të dhënave të tjera që zgjidhen.

Vizorja BAO e DESI-t më vete është në përputhje me energji të errët konstante (konstanten kozmologjike). Preferenca për energji të errët që *evoluon* shfaqet vetëm kur DESI kombinohet me sfondin kozmik mikrovalor dhe një kampion supernovash — dhe forca ndryshon sipas kampionit të supernovave.

Vizorja standarde dhe dy mënyrat si mund të ndryshojë energjia e errët

Shkalla BAO është një *vizore standarde*: sepse gjatësinë e saj reale e njohim nga fizika e universit të hershëm, krahasimi i gjatësisë reale me madhësinë e dukshme në një largësi të caktuar na tregon sa ishte zgjeruar universi në atë kohë. E matur në shumë largësi, vizorja gjurmon gjithë historinë e zgjerimit — pikërisht atë që drejton energjia e errët.

Në modelin standard, ΛCDM, energjia e errët është një *konstante kozmologjike*: dendësi fikse energjie e hapësirës së zbrazët që nuk ndryshon kurrë. Fizikanët e përshkruajnë sjelljen e saj me parametrin "ekuacioni i gjendjes", w, që për një konstante të vërtetë kozmologjike është saktësisht -1, kudo dhe gjithmonë.

Për ta testuar këtë, kufizimi mund të lirohet në dy mënyra. Më e thjeshta është të lejosh që w të jetë një konstante tjetër, por përsëri e pandryshueshme me kohën — ky është "wCDM". Më e pasura është të lejosh që w të ndryshojë me zgjerimin e universit, përshkruar nga dy numra: w_0, vlera sot, dhe w_a, sa shpejt ndryshon. Ky model "w_0w_aCDM" reduktohet në ΛCDM në pikën e vetme $w_0 = -1,\ w_a = 0$. Një preferencë për w_0 më të madh se -1 me w_a negativ është ajo që këtu quhet "energji e errët në evolucion": energji e errët që ishte më shtytëse në të kaluarën dhe po zbutet tani.

Çfarë bënë autorët

- Matën shkallën BAO nga viti i parë i të dhënave DESI — galaktika, kuazarë dhe pylli Lyman-alpha — mbi gjashtë milionë objekte në shtatë intervale redshift që mbulojnë $0.1 < z < 4.2$.
- Kryen analizën **të verbër**, duke fshehur rezultatin kozmologjik derisa metodologjia të ishte fiksuar, për të mbrojtur nga paragjykimi i konfirmimit.
- Përshtatën modelin standard të sheshtë ΛCDM vetëm me BAO të DESI-t, pastaj në kombinim me një prior nga nukleosinteza e Big Bang-ut dhe sfondin kozmik mikrovalor (CMB) nga Planck dhe ACT.
- E zgjeruan modelin në dy mënyra: me w konstant të energjisë së errët (wCDM) dhe me $w_0 w_a$ që ndryshon me kohën ($w_0 w_a$CDM).
- Testuan modelin me ndryshim në kohë duke kombinuar DESI+CMB me radhë me tri përmbledhje të ndryshme supernovash tip Ia — Pantheon+, Union3 dhe DES-SN5YR — në vend që të zgjidhnin vetëm njërën.
- Vendosën kufij mbi shumën e masave të neutrino-ve dhe kontrolluan si ndryshojnë këta kufij kur lejohet që sfondi i energjisë së errët të largohet nga ΛCDM.

Çfarë gjetën

- **BAO e DESI-t më vete pajtohen me modelin standard.** Japin dendësi materie $\Omega_m = 0.295 \pm 0.015$ dhe, kur energjisë së errët i lejohet një w konstant, $w = -0.99^{+0.15}_{-0.13}$ — praktikisht mbi vlerën -1 të konstantës kozmologjike.
- Të kombinuara me CMB dhe lensimin e tij, të dhënat DESI japin $\Omega_m = 0.307 \pm 0.005$ dhe konstantë Hubble $H_0 = 67.97 \pm 0.38$ km s^{-1} Mpc^{-1} (68.52 ± 0.62 kur kombinohen me nukleosintezën dhe shkallën akustike të CMB-së).
- **Në modelin me ndryshim në kohë, kombinimet preferojnë energji të errët në evolucion** — $w_0 > -1$ dhe $w_a < 0$. Preferenca është 2.6σ për DESI+CMB dhe, kur shtohet një kampion supernovash, bëhet 2.5σ, 3.5σ ose 3.9σ përkatësisht për Pantheon+, Union3 ose DES-SN5YR (sigma mat sa larg është një rezultat nga pritshmëria e modelit standard; 5σ është pragu i zakonshëm për pretendim zbulimi dhe nuk do të thotë se interpretimi është domosdoshmërisht i saktë — udhëzues).
- Kur lihet e lirë, shuma e masave të neutrino-ve kufizohet fort — nën 0.072 eV (95% besim) për DESI+CMB — por punimi thotë qartë se ky kufi lirohet ndjeshëm nëse sfondi i energjisë së errët lejohet të largohet nga ΛCDM.

Çfarë nuk provon kjo

- Nuk tregon se energjia e errët po evoluon. Vizorja e vetë DESI-t është në përputhje me konstanten kozmologjike; shenja e evolucionit shfaqet vetëm në përshtatje *të kombinuara* dhe vetëm në modelin më të pasur me dy parametra.
- Nuk do të thotë se "ΛCDM ka vdekur" ose se "Einstein gaboi". Numri më i fortë, 3.9σ, mbetet nën

konventën 5σ që fizikanët zakonisht kërkojnë për ta quajtur diçka zbulim — dhe modeli standard vazhdon t'u përshtatet mirë të dhënave DESI më vete.

- Rezultati **nuk është i pavarur nga kampioni**. Ndërrimi i përmbledhjes së supernovave e lëviz rëndësinë nga 2.5σ në 3.9σ — më shumë se një sigma e plotë. Një sinjal që ndryshon kaq shumë sipas dataset-it të jashtëm që i bashkohet është një shenjë për t'u ndjekur, jo një matje për t'u marrë si e sigurt.
- Prirja e DESI-t *më vete* drejt $w_0 > -1$ drejtohet **pjesërisht nga një pikë e vetme anomale** — intervali i galaktikave në redshift 0.51, që ndodhet pak lart ndaj ΛCDM. Por këtu punimi bën kontrollin e duhur: e trajton pikën si luhatje statistikore dhe tregon se zëvendësimi i *të gjitha* matjeve DESI në redshift të ulët ($z < 0.6$) me matjet më të vjetra SDSS e lë rezultatin për energjinë e errët të pandryshuar. Pika e çuditshme tërheq DESI-n më vete; **nuk** mban në këmbë sinjalin e kombinuar. Kështu, ky caveat është e kundërta e mënyrës si tregohet ndonjëherë: rezultati u testua pikërisht kundër të dhënës më anomale dhe qëndroi.
- Kufiri i masës së neutrino-ve **nuk është një verdikt i pavarur nga modeli**. Është i ngushtë vetëm nëse zgjerimi i sfondit mbahet sipas ΛCDM; liroje këtë supozim dhe kufiri lirohet bashkë me të.

Sa e fortë është prova?

- **Shumë e fortë si matje distance.** Vizorja BAO është një nga mjetet më të pastra të kozmologjisë, DESI e ka matur më saktë se kurrë dhe analiza e verbër është pikërisht mbrojtja që duhet kundër leximit të një përgjigjeje të dëshiruar në të dhëna.
- **Vërtet intriguese, por jo vendimtare, si pretendim për energjinë e errët.** Një preferencë 2.6σ nga DESI+CMB, që ngrihet në 3.9σ me kampionin më kufizues të supernovave, është lloji i rezultatit që meriton më shumë kohë teleskopi — jo ai që rrëzon një model. Arsyeja e ndershme për kujdes është shpërndarja mes kampioneve të supernovave; për meritë të autorëve, ata kontrolluan edhe se pika e vetme më anomale BAO nuk e drejton rezultatin.
- Punimi është i kujdesshëm me veten: raporton rëndësinë në tri mënyra në vend që të citojë vetëm më të madhen dhe shënon varësinë nga modeli të rezultatit për neutrino-t. Teprimi, kur ndodh, është në ritregim, jo në punim.

Pse ka rëndësi

Për një çerek shekulli, "energji e errët" dhe "konstante kozmologjike" janë përdorur pothuajse si sinonime, sepse çdo matje ishte në përputhje me w saktësisht -1. DESI është dataset-i i parë aq i saktë sa, në kombinim me të tjera, mund *të pyesë* nëse ai -1 ndryshon — dhe të marrë një përgjigje që nuk është thjesht jo. Ky është ndryshim real në atë që të dhënat mund të bëjnë dhe arsyeja pse rezultati meriton vëmendje. Por e njëjta saktësi na lejon të shohim sa i kushtëzuar është sinjali: i gjallë në disa kombinime të dhënash, i heshtur në të tjera dhe veçanërisht i ndjeshëm ndaj katalogut të supernovave që çiftohet me DESI. Qëndrimi i duhur nuk është as ta hedhësh poshtë, as të shpallësh revolucion para kohe. Duhet parë publikimi tjetër më i madh i DESI-t — DR2, tashmë i dalë në 2025 — dhe kampionet e pavarura të supernovave, për të parë nëse ndryshimi forcohet apo zbehet. Kështu

duket një “ndoshta” i vërtetë në kozmologji dhe ia vlen të raportohet si i tillë.

Përmbledhje e shkurtër

DESI ka matur historinë e zgjerimit të universit me vizoren më të mirë akustike barionike të ndërtuar deri tani, duke përdorur gjashtë milionë objekte. Më vete, kjo vizore pajtohet me modelin standard ku energjia e errët është konstante. Kur kombinohet me sfondin kozmik mikrovalor dhe një kampion supernovash, shfaqet preferencë për energji të errët që ndryshon me kohën — nga 2.6σ në 3.9σ, sipas supernovave që shtohen. Ky është një sinjal real dhe interesant, jo zbulim: mbetet nën pragun që kërkojnë fizikanët dhe ndryshon me dataset-in e supernovave. Energjia e errët mund të jetë duke evoluar. DESI e ka bërë këtë një pyetje që ia vlen të shtrohet me saktësi — por ende jo një pyetje që e ka zgjidhur.

Burimet

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