The Clean Paper

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

# DESI की अब तक की सबसे सटीक ब्रह्मांडीय माप नी— और बदलती डार्क एनर्जी का संभावित संकेत

*DESI ने छह मिलियन वस्तुओं से बैरियन ध्वनि की दो नो की अब तक की सबसे सटीक "मानक माप नी" बनाकर ब्रह्मांड के विस्तार का इतिहास मापा। DESI के आँकड़े अकेले उस मानक मॉडल से मेल खाते हैं जिसमें डार्क एनर्जी स्थिर है। बदलती डार्क एनर्जी की वरीयता तभी उभरती है जब DESI को कॉस्मिक माइक्रोवेव पृष्ठभूमि और सुपरनोवा नमूनों से जोड़ा जाता है — इस्तेमाल किए गए सुपरनोवा डेटासेट के अनुसार 2.6σ से 3.9σ तक। यह खोज की सामान्य सीमा से नीचे है और चुने गए बहरी डेटा के प्रति संवेदनशील है। यानी एक वास्तविक प्रश्न अब अधिक सटीक हुआ है; उसका उत्तर अभी नहीं मिला।*

---

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

# ध्वनि से बनी ब्रह्मांडीय मापनी

ब्रह्मांड के शुरुआती दौर में, तारों के बनने से पहले, समस्त पदार्थ और प्रकाश का गरम प्लाज़्मा मिलकर गूँजता था। दबाव तरंगें उसमें प्रकाश की गति के आधे से भी अधिक वेग से दौड़ती थीं। फिर ब्रह्मांड इतना ठंडा हुआ कि परमाणु बनने लगे और यह गूँज थम गई — लेकिन पदार्थ के वितरण में एक हल्की सी पसंदीदा दूरी की छाप छोड़ गई। इस दूरी को *sound horizon* कहते हैं। आज इसका पैमाना लगभग 150 megaparsecs (करीब 490 मिलियन light-years) है और यह हर दिशा तथा अलग-अलग ब्रह्मांडीय युगों में उस दूरी से अलग आकाशगंगा-युग्मों की थोड़ी अधिक संख्या के रूप में दिखाई देता है। Cosmologists इसे baryon acoustic oscillation, या BAO, कहते हैं और इसे एक standard ruler की तरह इस्तेमाल करते हैं: अलग-अलग दूरियों पर इस जमे हुए पैमाने का दिखाई देने वाला आकार मापकर ब्रह्मांड के विस्तार का इतिहास निकाला जा सकता है।

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) इसी मापनी को पहले से कहीं बेहतर मापने के लिए बनाया गया है। इसके पहले data release में आकाशगंगाओं, quasars और दूरस्थ गैस बादलों के Lyman-alpha जंगल में BAO पैमाना मापा गया—छह मिलियन से अधिक वस्तुएँ, redshift 0.1 से 4.2 तक सात bins में। मापदंड अपेक्षाएँ परिणाम को प्रभावित न करें, इसलिए टीम ने विश्लेषण *blind* रखा पद्धति तय होने तक शोधकर्ताओं ने cosmological परिणाम खुद से छिपाए रखे। काफ़ी बड़े अंतर से यह अब तक का सबसे सटीक BAO मापन है।

DESI Arizona के Kitt Peak पर Nicholas U. Mayall 4-metre Telescope पर लगा है। इसके हजारों optical fibres प्रकाश को spectrographs तक पहुँचाते हैं, जिससे लाखों आकाशगंगाओं और quasars के spectra तथा redshifts मापे जा सकते हैं।

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

### DESI क्या है

**Dark Energy Spectroscopic Instrument** Arizona के Kitt Peak पर Nicholas U. Mayall 4-metre telescope पर लगा एक spectrograph है। यह dark energy को सीधे नहीं देखता— वास्तव में ऐसा कोई उपकरण नहीं कर सकता, क्योंकि dark energy प्रकाश उत्सर्जित नहीं करती। इसके बजाय DESI एक साथ लगभग 5,000 आकाशगंगाओं और quasars के spectra दर्ज करता है, ब्रह्मांड के विस्तार से उनके प्रकाश में आए खिंचाव से redshift मापता है और लाखों वस्तुओं का त्रि-आयामी नक्शा बनाता है। फिर उस नक्शे से देखा जाता है कि समय के साथ ब्रह्मांड का विस्तार कैसे बदला, dark energy का प्रभाव उसी से निकाला जाता है। Robotic fibres से acoustic ruler तक पूरी प्रक्रिया के लिए How DESI works देखें।

इस परिणाम से जो सुर्खी सबसे ज़्यादा चली, वह यह थी कि dark energy शायद स्थिर नहीं है — ब्रह्मांड के विस्तार को तेज करने वाला यह रहस्यमय घटक समय के साथ *कमज़ोर* पड़ रहा हो सकता है, जिससे मानक cosmological model पर सवाल उठता है। दावा पूरी तरह गढ़ा हुआ नहीं है, लेकिन उसे बढ़ा-चढ़ाकर पढ़ना आसान है। अधिक सटीक और अधिक दिलचस्प बात यह है: **DESI का अपना BAO मापन, अपने आप में, मानक मॉडल से मेल खाता है।** नए भौतिकी का संकेत तभी उभरता है जब DESI को दूसरे datasets के साथ जोड़ा जाता है — और संकेत की ताक़त इस पर निर्भर करती है कि कौन-सा बाहरी dataset चुना गया।

DESI का baryon-acoustic ruler अकेले उस मॉडल से संगत है जिसमें dark energy स्थिर, यानी cosmological constant है। *समय के साथ बदलती* dark energy की ओर झुकाव तभी दिखाई देता है जब DESI को cosmic microwave background और supernovae के नमूने के साथ जोड़ा जाए — और अलग supernova नमूने इस्तेमाल करने पर झुकाव की सांख्यिकीय ताक़त बदल जाती है।

### Standard ruler और dark energy के बदलने के दो तरीके

BAO पैमाना एक *standard ruler* है: शुरुआती ब्रह्मांड की भौतिकी से इसकी वास्तविक लंबाई ज्ञात है। किसी दूरी पर इसकी वास्तविक लंबाई की तुलना उसके दिखाई देने वाले आकार से करके पता लगाया जा सकता है कि तब तक ब्रह्मांड कितना फैल चुका था। कई दूरियों पर यही माप दोहराने से विस्तार का इतिहास बनता है — और dark energy उसी इतिहास को प्रभावित करती है।
मानक मॉडल ΛCDM में dark energy एक *cosmological constant* है: खाली अंतरिक्ष की स्थिर ऊर्जा-घनता, जो समय के साथ नहीं बदलती। Physicists इसके व्यवहार को "equation of state" पैरामीटर $w$ से व्यक्त करते हैं। वास्तविक cosmological constant के लिए $w$ हर जगह और हर समय ठीक $-1$ होता है।
इसे जाँचने के लिए इस धारणा को दो तरह से ढीला किया जा सकता है। सरल रूप में $w$ को $-1$ से अलग, लेकिन समय के साथ स्थिर मानने दिया जाता है — इसे wCDM कहते हैं। अधिक लचीले मॉडल में $w$ ब्रह्मांड के फैलने के साथ बदल सकता है और उसे दो संख्याओं से वर्णित किया जाता है: $w_0$, आज का मान, और $w_a$, समय के साथ परिवर्तन की दर। यह $w_0w_a$CDM मॉडल $w_0 = -1,\ w_a = 0$ पर फिर ΛCDM बन जाता है। यहाँ $w_0 > -1$ और $w_a < 0$ की प्रारंभिकता को "evolving dark energy" कहा जा रहा है — यानी ऐसी dark energy जो अतीत में अधिक repulsive थी और अब उसका प्रभाव कुछ कम हो रहा है।

# शोधकर्ताओं ने क्या किया

- DESI के पहले वर्ष के डेटा— आकाशगंगाएँ, quasars और Lyman-alpha forest — से BAO पैमाना मापा। छह मिलियन से अधिक वस्तुएँ, सात redshift bins, $0.1 < z < 4.2$।

- विश्लेषण **blind** रखाऔर methodology तय होने तक cosmological परिणाम छुपाए, तकि confirmation bias का खतरा कम हो।
- पहले standard flat ΛCDM model को केवल DESI BAO पर fit किया, फिर big-bang nucleosynthesis prior और Planck/ACT के cosmic microwave background (CMB) डेटा के साथ।
- Model को दो तरह से बढ़ाया: स्थिर dark-energy $w$ वाला wCDM और समय के साथ बदलने वाला $w_0w_a$ model।
- DESI+CMB को तीन अलग type Ia supernova compilations — Pantheon+, Union3 और DES-SN5YR — के साथ अलग-अलग जोड़कर time-varying model जाँचा, केवल एक नमूना चुनकर नहीं।
- Neutrinos के कुल mass पर सीमाएँ निकालीऔर देखा कि dark-energy background को ΛCDM से अलग होने की अनुमति देने पर वे सीमाएँ कितनी बदलती हैं।

# क्या मिला

- **DESI BAO अकेले मानक मॉडल से संगत है।** पदार्थ घनता $\Omega_m = 0.295 \pm 0.015$ मिली और स्थिर $w$ को स्वतंत्र छोड़ने पर $w = -0.99^{+0.15}_{-0.13}$ — cosmological constant के $-1$ के बेहद करीब।
- CMB और उसकी lensing जानकारी के साथ DESI $\Omega_m = 0.307 \pm 0.005$ और Hubble constant $H_0 = 67.97 \pm 0.38$ km s$^{-1}$ Mpc$^{-1}$ देता है ($68.52 \pm 0.62$ जब nucleosynthesis और CMB acoustic scale के साथ जोड़ा जाए)।
- **समय के साथ बदलने वाले model में संयुक्त datasets evolving dark energy को प्राथमिकता देते हैं** — $w_0 > -1$ और $w_a < 0$। DESI+CMB के लिए यह झुकाव $2.6\sigma$ है। Supernova sample जोड़ने पर Pantheon+, Union3 और DES-SN5YR के लिए यह क्रमशः $2.5\sigma$, $3.5\sigma$ और $3.9\sigma$ हो जाता है। Sigma बताता है कि परिणाम standard-model expectation से कितनी दूर है; discovery का सामान्य मानदंड $5\sigma$ है, और इतना sigma होना भी व्याख्या के सही होने की गारंटी नहीं देता— मार्गदर्शक।
- Neutrinos का कुल mass स्वतंत्र रखने पर सीमा काफ़ी कड़ी मिलती है — DESI+CMB के लिए 95% confidence पर 0.072 eV से कम — लेकिन शोधपत्र स्पष्ट करता है कि यदि dark-energy background को ΛCDM से अलग होने दिया जाए तो यह सीमा काफ़ी ढीली हो जाती है।

# यह क्या साबित नहीं करता

- यह **नहीं** दिखाता कि dark energy सचमुच समय के साथ बदल रही है। DESI का अपना ruler cosmological constant से संगत है; बदलाव का संकेत केवल *संयुक्त* fits और अधिक लचीले दो-पैरामीटर model में आता है।
- इसका अर्थ **"ΛCDM खत्म हो गया" या "Einstein गलत थे"** नहीं है। सबसे मजबूत संख्या $3.9\sigma$ है, जो physicists की $5\sigma$ discovery convention से नीचे है — और केवल DESI को देखें तो standard model अच्छा fit देता है।
- परिणाम **sample-independent नहीं है**। Supernova compilation बदलने से significance $2.5\sigma$ से $3.9\sigma$ तक चली जाती है — एक पूरे sigma से भी अधिक अंतर। जिस संकेत का आकार बहरी dataset के चुनाव पर इतना निर्भर हो, उसे गंभीरता से आगे जाँचना चाहिए, लेकिन उसे पक्का मान लेना नहीं मानना चाहिए।
- केवल DESI में $w_0 > -1$ की ओर झुकाव **आंशिक रूप से एक असामान्य data point** से आता है — redshift 0.51 वाला galaxy bin, जो ΛCDM की अपेक्षा से थोड़ा ऊपर बैठता है। लेकिन शोधपत्र ने इस बिंदु की जाँच की इसे संभावित statistical fluctuation मानकर दिखाया कि DESI के *सभी* low-redshift ($z < 0.6$) मापों को पुराने SDSS मापों से बदल देने पर dark-energy निष्कर्ष नहीं बदलता। यानी यह असामान्य बिंदु DESI-alone fit को थोड़ा खींचता है, लेकिन संयुक्त संकेत को **सहारा नहीं देता**। बाद में स्वतंत्र समूहों ने भी इसकी भूमिका और विस्तार से जाँची है। इसलिए यह caveat कभी-कभी बताई जाने वाली कहानी के उलट काम करता है: सबसे असामान्य data point हटाकर भी संकेत बना रहता है।
- Neutrino-mass सीमा **model-independent निष्कर्ष नहीं है**। यह तभी बहुत कड़ी है जब background expansion को

ΛCDM पर बँधाजाए; उस धारणाकोढीलाकरें तोसीमाभीढीलीपड़तीहै।

# प्रमाण कतिनामजबूत है

- **दूरीमापन के रूप में बहुत मजबूत।** BAO cosmology के सबसे साफ़ उपकरणोंमें से एक है, DESI कामापन अब तक का सबसे सटीक है, और blind analysis वहीसुरक्षादेताहै जोकसीअपेक्षति उत्तर कोअनजाने में डेटामें पढ़ लेने से बचाती है।
- **Dark-energy दावे के रूप में सचमुच दलिचस्प, लेकनि नरि्णायक नहीं।** DESI+CMB में $2.6\sigma$ और सबसे constraining supernova set के साथ $3.9\sigma$ तक काझुकाव आगे और telescope समय तथास्वतंत्र जाँच काहकदार है; यह model पलट देने वालापरणिाम नहीं। सावधानीकामुख्य कारण अलग supernova samples के बीच बड़ाफैलाव है। साथ हीलेखकोंने यह भी जाँचाकि सबसे असामान्य BAO point परणिाम कोचलातोनहींरहा— ऐसाstress test इस तरह के दावे के लिए जरूरीहै।
- शोधपत्र अपनीसीमाओं कोलेकर सावधान है: वह केवल सबसे बड़ीsignificance नहींचुनता, तीन अलग supernova combinations के परणिाम देताहै और neutrino सीमाकीmodel-dependence भीस्पष्ट करताहै। बढ़ाचढ़ाव मुख्यत:बाद कीretelling में आताहै, शोधपत्र में नहीं।

# यह क्योंमहत्वपूर्ण है

लगभग पच्चीस वर्षोंसे “dark energy” और “cosmological constant” कोअक्सर लगभग एक हीअर्थ में इस्तेमाल कयिा गया क्योंकि हर मापन $w = -1$ से संगत था। DESI इतनासटीक dataset है कि दूसरे डेटाके साथ मलिकर वह सचमुच पूछ सकताहै कि क्यायह $-1$ समय के साथ बदलताहै — और पहलीबार उत्तर पूरीतरह सपष्ट “नहीं” नहींहै। डेटाकीक्षमतामें यह वास्तवकि बदलाव है, इसलिए परणिाम ध्यान देने योग्य है।

लेकनि यहीसटीकतायह भीदखिातीहै कि संकेत कतिनाशर्तोंपर नरि्भर है: कुछ dataset combinations में दखिाई देताहै, कुछ में शांत पड़ जाताहै, और खास तौर पर यह इस बात के प्रति संवेदनशील है कि DESI के साथ कौन-साsupernova catalogue जोड़ागया। इसलिए सहीप्रतक्रियिान तोइसे खारजि करनाहै, न समय से पहले क्रांति घोषति करना। अगलीबड़ीDESI release — DR2, जो2025 में आ चुकीहै — और स्वतंत्र supernova samples से देखनाहोगाकि यह drift मजबूत होतीहै या गायब। Cosmology में वास्तवकि “शायद” कुछ ऐसाहीदखिताहै, और इसे “शायद” कीतरह हीरपिोर्ट करनाचाहए।

# संक्षपि्त सार

DESI ने छह मलियिन वस्तुओं कीमदद से अब तक के सबसे सटीक baryon-acoustic ruler काउपयोग करके ब्रह्मांड के वसि्तार काइतहिास मापाहै। अकेले DESI कायह ruler उस standard model से मेल खाताहै जसिमें dark energy स्थरि है। लेकनि जब इसे cosmic microwave background और supernova sample के साथ जोड़ाजाताहै, तोसमय के साथ बदलती dark energy कीओर $2.6\sigma$ से $3.9\sigma$ तक झुकाव दखिताहै — यह इस पर नरि्भर करताहै कि कौन-साsupernova dataset जोड़ा गया। यह वास्तवकि और दलिचस्प संकेत है, discovery नहीं physicists के मानक threshold से नीचे है और supernova sample बदलने पर इसकीताकत बदलतीहै। Dark energy शायद evolve कर रहीहो। DESI ने इस सवाल कोसटीक रूप से पूछने लायक बनादयिाहै — अभीउसकाउत्तर तय नहींकयिाहै।

# सन्दर्भ

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