The
CLEAN PAPER

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

آواز سے بنی ہوئی ایک کائناتی پیمانہ

DESI نے چھ ملین اشیا سے کائنات کے *expansion* تاریخ کو اب تک کے بہترین صوتی-*baryon* پیمانہ کے ذریعے ناپا ہے۔ اکیلا *DESI* پیمانہ معیاری ماڈل سے متفق ہے، جہاں تاریک توانائی مستقل ہے۔ اسے کائناتی *microwave* پس منظر اور سپرنووا نمونہ کے ساتھ ملانا کریں تو وقت کے ساتھ بدلنے والا تاریک توانائی کی *preference* ظاہر ہوتی ہے—2.6σ سے 3.9σ تک، اس پر منحصر کہ کون سا سپرنووا *set* شامل کیا گیا۔ یہ حقیقی اور دلچسپ اشارہ ہے، دریافت نہیں: اہمیت طبیعیات کے معمول کے حد سے نیچے ہے اور *external* سپرنووا ڈیٹا کے انتخاب سے بدلتی ہے۔ تاریک توانائی شاید *evolve* کر رہی ہو۔ *DESI* نے اس سوال کو پہلی بار *precision* کے ساتھ واقعی پوچھنے کے قابل بنا دیا ہے—ابھی اس کا جواب نہیں دیا۔

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

آواز سے بنی ہوئی ایک کائناتی پیمانہ

کائنات کے بہت ابتدائی دور میں، ستاروں سے پہلے، عام مادّہ اور روشنی کا گرم پلازما گونجتا تھا۔ دباؤ waves اس میں روشنی کی رفتار کے نصف سے زیادہ رفتار سے دوڑتی تھیں، یہاں تک کہ کائنات اتنی ٹھنڈی ہوئی کہ ایٹمز بن سکے اور یہ گونج رک گئی—اور مادّہ کی تقسیم میں ایک ہلکی سی پسندیدہ فاصلہ منجمد ہو گئی۔ آج یہ فاصلہ، جسے صحیح افق کہتے ہیں، تقریباً 150 megaparsecs (تقریباً 490 ملین روشنی-سال) ہے۔ کہکشائیں کی تقسیم میں اسی علیحدگی پر ایک معمولی excess ہر سمت اور مختلف epochs میں دکھائی دیتا ہے۔ Cosmologists اسے baryon صوتی oscillation، یا BAO، کہتے ہیں اور معیاری پیمانہ کے طور پر استعمال کرتے ہیں: مختلف فاصلے پر اس مستقل پیمانہ کا apparent حجم ناپیں، اور کائنات کی پوری تاریخ میں توسیع شرح کا نقشہ بن جاتا ہے۔

تاریک توانائی طیفی آلہ (DESI) اسی پیمانہ کو پہلے سے کہیں بہتر ناپنے کے لیے بنایا گیا تھا۔ اس کی پہلا ڈیٹا اجرا کہکشائیں، کوازارز اور دور گیس بادل کے الفا-Lyman جنگل میں BAO پیمانہ نقشہ کرتی ہے—چھ ملین سے زیادہ اشیا، سات ریڈ شفٹ bins میں، ریڈ شفٹ 1.0 سے 2.4 تک۔ انسانی توقع کو نتیجہ سے دور رکھنے کے لیے ٹیم نے تجزیہ بلائنڈ چلایا، یعنی cosmological جواب خود سے چھپائے رکھا جب تک طریقے lock نہ ہو گئے۔ BAO کی precision میں یہ اب تک کی سب سے بہتر پیمائش ہے۔

DESI، Arizona کے Kitt Peak پر Nicholas U. Mayall 4-metre دوربین پر نصب ہے۔ آلہ ہزاروں بصری ریشوں سے روشنی طیف نگاروں تک پہنچاتا ہے، اور آسمان مقامات کو لاکھوں کہکشائیں اور کوازارز کے طیف اور ریڈ شفٹس میں بدل دیتا ہے۔

KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/P. Marenfeld CC BY 0.4

DESI کیا ہے

تاریک توانائی طیفی آلہ Arizona کے Kitt Peak پر Nicholas U. Mayall 4-metre دوربین کا ایک spectrograph ہے۔ یہ تاریک توانائی کو براہِ راست نہیں دیکھتا—ایسا کوئی آلہ نہیں کر سکتا کیونکہ تاریک توانائی روشنی emit نہیں کرتی۔ اس کے بجائے یہ ایک وقت میں تقریباً 5,000 کہکشائیں اور کوازارز کے طیف ریکارڈ کرتا ہے، expanding کائنات نے ان کی روشنی کو جتنا stretch کیا ہے اس سے ہر شے کا ریڈ شفٹ پڑھتا ہے، اور لاکھوں اشیا کا three-dimensional نقشہ بناتا ہے۔ پھر تاریک توانائی اس بات سے اخذ کی جاتی ہے کہ یہ نقشہ وقت کے ساتھ کائناتی توسیع کی تبدیلی کیسے دکھاتا ہے۔ robotic ریشوں سے صوتی پیمانہ تک پوری زنجیر کے لیے How DESI کام کرتا ہے دیکھیں۔

اس نتیجے سے سب سے زیادہ پھیلنے والی سرخی یہ تھی کہ تاریک توانائی شاید مستقل نہیں—کائنات کی توسیع تیز کرنے والی پراسرار شے وقت کے ساتھ کمزور ہو رہی ہو، اور معیاری کونیاتی ماڈل میں دراڑ پڑ رہی ہو۔ یہ دعویٰ من گھڑت نہیں، مگر اسے اصل شواہد سے کہیں آگے لے جانا بہت آسان ہے۔ دیانت دار تعبیر زیادہ محدود ہے۔

DESI کا صوتی-baryon پیمانہ بذاتِ خود مستقل تاریک توانائی، یعنی cosmological مستقل، کے ساتھ ہم آہنگ ہے۔ بدلتی ہوئی تاریک توانائی کی ترجیح تب ظاہر ہوتی ہے جب DESI کو کائناتی microwave پس منظر اور سپرنووا نمونہ کے ساتھ ملانا کیا جائے—اور اہمیت اس بات کے ساتھ بدلتی ہے کہ کون سا سپرنووا نمونہ لیا گیا۔

معیاری ruler، اور تاریک توانائی کے بدلنے کے دو طریقے

BAO پیمانہ ایک معیاری پیمانہ ہے: کائنات-ابتدائی طبیعیات سے اس کی حقیقی لمبائی معلوم ہے، اس لیے کسی فاصلہ پر حقیقی لمبائی کو apparent زاویائی حجم سے موازنہ کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ کائنات تب تک کتنی expand ہو چکی تھی۔ بہت سی فاصلے پر پیمانہ کو ناپ کر پورا توسیع تاریخ پیچھا کیا جا سکتا ہے—اور یہی تاریک توانائی govern کرتی ہے۔

معیاری ماڈل، ΛCDM، میں تاریک توانائی ایک *cosmological* مستقل ہے: empty خلا کی مقرر توانائی کثافت جو وقت کے ساتھ نہیں بدلتی۔ طبیعیات دان اس رویّے کو "مساوات of حالت" پیرامیٹر w سے بیان کرتے ہیں؛ حقیقی cosmological مستقل کے لیے w ہر جگہ اور ہر وقت بالکل -1 ہے۔

اس مفروضہ کو دو طریقوں سے relax کیا جا سکتا ہے۔ سادہ ماڈل میں w کو -1 سے مختلف مگر وقت کے ساتھ مستقل رہنے دیا جاتا ہے—یہ wCDM ہے۔ زیادہ لچکدار ماڈل میں w توسیع کے ساتھ بدل سکتا ہے، اور اسے دو اعداد سے describe کیا جاتا ہے: w_0، آج کی قدر، اور w_a، وقت کے ساتھ تبدیلی کی مقدار۔ یہ w_0w_aCDM ماڈل صرف $w_0 = -1,\ w_a = 0$ کے واحد نقطہ پر ΛCDM بن جاتا ہے۔ یہاں w_0 کا -1 سے بڑا اور w_a کا منفی ہونا "بدلتی ہوئی تاریک توانائی" کا مطلب ہے: تاریک توانائی جو ماضی میں زیادہ repulsive تھی اور اب کچھ کم ہو رہی ہے۔

مصنفین نے کیا کیا

- DESI کے پہلا-سال ڈیٹا سے BAO پیمانہ ناپی—کہکشائیں، کوازارز اور Lyman-الفا جنگل سمیت—چھ ملین سے زیادہ اشیا، سات ریڈ شفٹ bins، $0.1 < z < 4.2$۔
- **تجزیہ بلائنڈ چلایا**، cosmological نتیجہ کو طریقۂ کار درست کرنا ہونے تک conceal رکھا تا کہ تصدیق bias کم ہو۔
- معیاری ہموار ΛCDM ماڈل کو پہلے DESI BAO اکیلا پر مطابقت کیا، پھر بینگ-ابتدائی-big عنصری ترکیب prior اور Planck/ACT کے کائناتی microwave پس منظر (CMB) ڈیٹا کے ساتھ۔
- ماڈل کو دو سمتیں میں پیچھے تک بڑھا کیا: مستقل تاریک-توانائی w (wCDM)، اور وقت کے ساتھ بدلنے والا w_0w_a

($w_0 w_a$-CDM)

- وقت کے ساتھ بدلنے والا ماڈل کو DESI+CMB کے ساتھ باری باری تین قسم Ia سپرنووا compilations—Pantheon+، Union3، DES-SN5YR—جوڑ کر ٹیسٹ کیا، ایک پسندیدہ نمونہ منتخب نہیں کیا۔
- neutrino کمیتوں کے summed کل پر حدود رکھیں، اور دیکھا کہ تاریک-توانائی پس منظر کو vary کرنے دینے پر وہ حدود کیسے بدلتی ہیں۔

انہوں نے کیا پایا

- **BAO DESI اکیلا معیاری ماڈل کے ساتھ ہم آہنگ ہیں۔** مادّہ کثافت $\Omega_m = 0.295 \pm 0.015$ ملتی ہے، اور جب تاریک توانائی کے لیے مستقل w آزاد رکھا جائے تو $w = -0.99^{+0.15}_{-0.13}$—یعنی مستقل-cosmological قدر -1 کے عین قریب۔
- CMB اور اس کی عدسی اثر کے ساتھ DESI $\Omega_m = 0.307 \pm 0.005$ اور Hubble مستقل $H_0 = 67.97 \pm 0.38$ km s^{-1} Mpc^{-1} دیتا ہے (68.52 ± 0.62 جب ابتدائی عنصری ترکیب اور CMB صوتی پیمانہ کے ساتھ جوڑا کیا جائے)۔
- **وقت کے ساتھ بدلنے والا ماڈل میں مشترکہ ڈیٹا سیٹس بدلتی ہوئی تاریک توانائی کو ترجیح دیتے ہیں**—$w_0 > -1$ اور $w_a < 0$۔ DESI+CMB کے لیے ترجیح 2.6σ ہے؛ سپرنووا نمونہ شامل کرنے پر، Pantheon+، Union3 اور DES-SN5YR کے لیے بالترتیب 2.5σ، 3.5σ اور 3.9σ ہو جاتی ہے۔ سگما بتاتا ہے نتیجہ معیاری-ماڈل expectation سے کتنا دور ہے؛ claimed دریافت کے لیے طبیعیات میں عام روایت 5σ ہے، اور سگما خود یہ نہیں بتاتا کہ تشریح درست ہے—رہنما۔
- neutrino کمیتوں کا sum، اگر آزاد چھوڑا جائے، DESI+CMB کے لیے 072.0 eV سے کم (95% اعتماد) حد میں ہے؛ مگر مقالہ واضح کرتا ہے کہ تاریک-توانائی پس منظر کو CDMΛ سے ہٹنا کرنے دیں تو یہ حد نمایاں طور پر loose ہو جاتا ہے۔

یہ کیا ثابت نہیں کرتا

- **یہ نہیں دکھاتا** کہ تاریک توانائی evolve کر رہی ہے۔ DESI کا اپنا پیمانہ cosmological مستقل کے ساتھ ہم آہنگ ہے؛ ارتقا کا اشارہ صرف مشترکہ fits اور richer پیرامیٹر-two ماڈل میں آتا ہے۔
- اس کا مطلب "CDMΛ مر گیا" یا "Einstein غلط تھا" نہیں۔ سب سے بڑا عدد 3.9σ، 5σ دریافت روایت سے نیچے ہے، اور DESI اکیلا کو معیاری ماڈل اچھی طرح مطابقت کرتا ہے۔
- **نتیجہ نمونہ-آزاد نہیں۔** سپرنووا compilation بدلنے سے اہمیت 2.5σ سے 3.9σ تک بدلتی ہے—ایک مکمل سگما سے زیادہ۔ ایسا اشارہ جو external ڈیٹا سیٹ کے انتخاب پر اتنا انحصار کرے، فالو اَپ کا اشارہ ہے، bank کرنے کے قابل پیمائش نہیں۔
- DESI-اکیلا میں $w_0 > -1$ کی طرف جھکاؤ **جزوی طور پر ایک anomalous نقطہ** سے آتا ہے—ریڈ شفٹ-51.0 کہکشاں bin جو CDMΛ کے مقابلے میں کچھ بلند بیٹھتا ہے۔ لیکن مقالہ اس پر درست stress ٹیسٹ کرتا ہے: اسے شماریاتی fluctuation سمجھتا ہے، اور دکھاتا ہے کہ DESI کے تمام کم-ریڈ شفٹ ($z < 0.6$) پیمائشیں کو قدیم SDSS قدریں سے جگہ لینا کرنے پر مشترکہ تاریک-توانائی نتیجہ نہیں بدلتا۔ یعنی odd نقطہ DESI اکیلا کو tug کرتا ہے؛ مشترکہ اشارہ کو سہارا نہیں دیتا۔ آزاد گروپس نے بھی بعد میں اس نقطہ کے کردار کو مزید دیکھا۔
- neutrino-mass حد **ماڈل-آزاد فیصلہ نہیں۔** یہ تب سخت ہے جب پس منظر توسیع CDMΛ پر مقرر ہو؛ پس منظر relax کریں تو حد بھی relax ہوتا ہے۔

شواهد کتنے مضبوط هیں

- **فاصلہ پیمائش کے طور پر بہت مضبوط۔** BAO cosmology کے صاف ترین ٹولز میں سے ہے، DESI کی پیمائش اب تک سب سے درست ہے، اور بلائنڈ تجزیہ وهی safeguard ہے جو hoped-for جواب کو ڈیٹا میں پڑھ لینے سے بچانے کے لیے چاهیے۔
- **تاریک-توانائی دعویٰ کے طور پر واقعی دلچسپ مگر فیصلہ کن نہیں۔** DESI+CMB کا 2.6σ ترجیح، اور سب سے constraining سپرنووا سیٹ کے ساتھ 3.9σ، مزید دوربین وقت کا مستحق نتیجہ ہے—ماڈل overthrow کرنے کا نہیں۔ caution کی دیانت دار وجہ سپرنووا نمونے کے درمیان پھیلاؤ ہے۔ مصنفین نے یہ بھی verfiy کیا کہ ان کا سب سے anomalous BAO نقطہ نتیجہ ڈرائیو نہیں کرتا۔
- مقالہ اپنے دعوے میں محتاط ہے: سب سے بڑا سگما quote کرنے کے بجائے اهمیت تین طریقوں سے رپورٹ کرتا ہے، اور neutrino نتیجہ کی ماڈل باهمی انحصار بھی واضح کرتا ہے۔ overreach زیادہ تر retelling میں آتی ہے، مقالہ میں نہیں۔

یہ کیوں اهم ہے

تقریباً پچیس سال سے "تاریک توانائی" اور "cosmological مستقل" تقریباً interchangeable اصطلاحات بنے رہے کیونکہ پیمائشیں w کی -1 قدر کے ساتھ هم آهنگ تھیں۔ DESI پہلا ڈیٹا سیٹ ہے جس کی precision اتنی ہے کہ دوسرے ڈیٹا کے ساتھ مل کر یہ واقعی پوچھ سکے کہ کیا یہ -1 وقت کے ساتھ تبدیلی کرتا ہے—اور جواب هموار "نہیں" نہ هو۔ ڈیٹا کیا پوچھ سکتے هیں، اس میں یہ حقیقی تبدیلی ہے، اور اسی لیے نتیجہ attention کے قابل ہے۔

لیکن یہی precision همیں یہ بھی دکھاتی ہے کہ اشارہ کتنی مشروط ہے: کچھ ڈیٹا combinations میں زندہ، دوسروں میں خاموش، اور خاص طور پر اس بات کے لیے حساس کہ DESI کے ساتھ کون سا سپرنووا catalogue جوڑا هوتا ہے۔ صحیح posture نہ dismissal ہے، نہ ابتدائی۔ revolution اگلی بڑی DESI اجرا—DR2، جو 2025 میں آ چکی ہے—اور آزاد سپرنووا نمونے کو دیکھنا ہے: تبدیلی مضبوط هوتی ہے یا fade؟ cosmology میں genuine "maybe" کچھ ایسا هی دکھائی دیتا ہے، اور اسے "maybe" هی رپورٹ کرنا چاهیے۔

صاف خلاصہ

DESI نے چھ ملین اشیا سے کائنات کے توسیع تاریخ کو اب تک کے بہترین صوتی-baryon پیمانہ کے ذریعے ناپا ہے۔ اکیلا DESI پیمانہ معیاری ماڈل سے متفق ہے، جہاں تاریک توانائی مستقل ہے۔ اسے کائناتی microwave پس منظر اور سپرنووا نمونہ کے ساتھ ملانا کریں تو وقت کے ساتھ بدلنے والا تاریک توانائی کی ترجیح ظاهر هوتی ہے—2.6σ سے 3.9σ تک، اس پر منحصر کہ کون سا سپرنووا سیٹ شامل کیا گیا۔ یہ حقیقی اور دلچسپ اشارہ ہے، دریافت نہیں: اهمیت طبیعیات کے معمول کے حد سے نیچے ہے اور external سپرنووا ڈیٹا کے انتخاب سے بدلتی ہے۔ تاریک توانائی شاید evolve کر رهی هو۔ DESI نے اس سوال کو پہلی بار precision کے ساتھ واقعی پوچھنے کے قابل بنا دیا ہے—ابھی اس کا جواب نہیں دیا۔

ماخذ

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