The CLEAN PAPER

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

DESI-র সবচয়ে ধারালে া cosmic ruler — আর dark energy নয়িে খুব সতর্ক একটি "হয়তে া"

*DESI first-year BAO measurement cosmic distance ruler-কে unprecedented precision দয়িছে। DESI BAO **নজিে** flat ΛCDM-এর সঙ্গে compatible। কন্িতু CMB ও কছিু Type Ia supernova dataset-এর সঙ্গে combine করলে time-varying dark energy (w0–wa) model-এর দকিে 2.5–4σ-পর্যায়রে preference দখো যায়, যার strength supernova compilation অনুযায়ী বদলায়। তাই সৎ conclusion "dark energy evolving" নয়; বরং precision data standard model-এ একটি interesting, dataset-dependent tension দখোচ্ছে যা future data দয়িে পরীক্ষা করা দরকার।*

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

শব্দরে তরঙ্গ দয়িে বানানো মহাজাগতকি মাপকাঠি

মহাবশি্বরে একবোরে শুরুতে, নক্ষত্র গঠনরেও আগে, সাধারণ পদার্থ ও আলো মলিে থোকা গরম প্লাজমার মধ্যে চাপ তরঙ্গ ছুটত—আলো র গতরি অর্ধকেরেও বশেি গততিে। মহাবশি্ব ঠান্ডা হয়ে পরমাণু তরৈি হওয়ার পর সইে “ringing” থমেে যায়, আর পদার্থ বণ্টনে একটি মলিান বশিষে একটি দূরত্ব জমে থাকে। আজ সইে দূরত্ব—**ধ্বনি-দগিন্ত**—প্রায় 150 মগোপারসকে, অর্থাৎ প্রায় 490 মলিয়িন আলো-বছর। গ্যালাক্সি বণ্টনে ওই ব্যবধানরে আশপোশে সামান্য অতরিক্তি দখো যায়, সব দকি ও নানা মহাজাগতকি যুগে। মহাকাশতত্ত্ববদিরো একে **ব্যারয়িন অ্যাকো স্টকি অসলিশেন (BAO)** বলনে। এই পরচিতি ভৌ ত দরৈ্ঘযটকিে মানক মানদণ্ড হসিবেে ব্যবহার করে বভিন্নি লাল-সরণে তার দৃশ্যমান আকার মাপলে মহাবশি্বরে বস্তিার ইতহিাস আঁকা যায়।

ডার্ক শক্তি বর্ণালবিীক্ষণমূলক যন্ত্র (DESI) এই মানদণ্ড আগরে সব সমীক্ষার চয়েে বশেি নর্িভুলতায় মাপার জন্য তরৈি। প্রথম-বছর প্রকাশে গ্যালাক্সি, কো য়াসার এবং দূরবর্তী গ্যাস মঘেরে Lyman-alpha বন ব্যবহার করে ছয় মলিয়িনরেও বশেি বস্তু, $0.1 < z < 4.2$ পরসিররে সাত লাল-সরণ বনিে BAO মাপা হয়ছে। মানব প্রত্যাশা যনে ফলে ঢুকতে না পারে, বশি্লষেণ **ব্লাইন্ড** ছলি: পদ্ধতি চূড়ান্ত করা না হওয়া পর্যন্ত মহাজাগতকি উত্তর দলরে কাছ থকেওে লুকানো হয়। এটি এখন পর্যন্ত সবচয়েে নর্িভুল BAO পরমিাপ।

Arizona-র Kitt Peak-এ Nicholas U. Mayall 4-মটিার দূরবীক্ষণযন্ত্রে DESI বসানো। হাজার হাজার রো বো টকি অপটক্যিাল ফাইবার একসঙ্গে গ্যালাক্সি ও কো য়াসাররে বর্ণালি সংগ্রহ করে, অবস্থানকে লাল-সরণ-সহ তনি-মাত্রকি মহাজাগতকি মানচত্রিে রূপ দয়ে।

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

DESI কী

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) কো নো ভাবইে ডার্ক শক্তকিে সরাসরি “দখেে” না। Kitt Peak-এর Mayall 4-মটিার দূরবীক্ষণযন্ত্রে বসানো spectrograph একবারে প্রায় 5,000 গ্যালাক্সি ও কো য়াসাররে বর্ণালি নয়ে, প্রসারতি

> মহাবিশ্ব তাদের আলো কতটা টেনে লম্বা করছে তা থেকে লাল-সরণ মাপে, এবং লক্ষ লক্ষ বস্তুর ত্রিমাত্রিক মানচিত্র তৈরি করে। সেই মানচিত্র থেকে সময়ের সঙ্গে মহাজাগতিক প্রসারণ কীভাবে বদলেছে তা অনুমান করে ডার্ক শক্তি সম্পর্কে সিদ্ধান্ত টানা হয়। রোবোটিক ফাইবার থেকে ধ্বনি-দিগন্তের মানদণ্ড পর্যন্ত পুরো শৃঙ্খলের জন্য DESI কীভাবে কাজ করে দেখুন।

এই প্রকাশ থেকে সবচেয়ে প্রচারিত শিরোনাম ছিল: ডার্ক শক্তি হয়তো স্থির নয়; মহাবিশ্বের accelerated বিস্তার চালানো উপাদান সময়ের সঙ্গে **দুর্বল হচ্ছে**। দাবি সম্পূর্ণ বানানো নয়, কিন্তু সহজেই অতিরঞ্জিত হয়। সৎ সংস্করণ আরও নির্দিষ্ট: **DESI-র BAO মানদণ্ড একা মানক ΛCDM মডেলের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ।** বিবর্তনশীল ডার্ক শক্তির ইঙ্গিত আসে DESI-কে অন্য ডেটাসেটের সঙ্গে একত্র করলে, এবং ইঙ্গিতের শক্তি কোন সুপারনোভা নমুনা ব্যবহার করা হচ্ছে তার ওপর বদলে যায়।

> **মানক মানদণ্ড এবং ডার্ক শক্তি বদলানোর দুই মডেল**
>
> BAO পরিসর একটি *মানক মানদণ্ড*: প্রাথমিক-মহাবিশ্ব পদার্থবিদ্যা থেকে এর সত্য দৈর্ঘ্য জানা যায়। দূরে সেই পরিচিত দৈর্ঘ্য আকাশে কত বড় দেখায় তা মেপে বিস্তার নির্ণয় করা যায়। নানা দূরত্বে মানদণ্ড মাপলে বিস্তার ইতিহাস পাওয়া যায়।
> মানক **ΛCDM** মডেলে ডার্ক শক্তি হলো মহাজাগতিক ধ্রুবক—খালি মহাকাশের স্থির শক্তি-ঘনত্ব। এর equation-of-state প্যারামিটার $w = -1$ সর্বত্র ও সবসময়। পরীক্ষা করার একটি উপায় হলো w-কে -1-এর বদলে অন্য কোনো স্থির মান নিতে দেওয়া—এটি **wCDM**। আরও নমনীয় মডেলে w সময়ের সঙ্গে বদলায়: আজকের মান w_0, আর পরিবর্তনের প্যারামিটার w_a—এটি **w_0w_aCDM**। ΛCDM হলো বিশেষ বিন্দু $w_0 = -1,\ w_a = 0$। এখানে $w_0 > -1$ ও $w_a < 0$-এর প্রতি সমর্থনের মাত্রাই "বিবর্তনশীল ডার্ক শক্তি" কথাটির অর্থ।

গবেষকেরা কী করেছেন

- DESI প্রথম-বছর গ্যালাক্সি, কোয়াসার ও Lyman-alpha বন তথ্য থেকে ছয় মিলিয়নের বেশি বিস্তু, সাত লাল-সরণ বিন, $0.1 < z < 4.2$ জুড়ে BAO পরিসর মাপনে।
- বিশ্লেষণ **ব্লাইন্ড** রাখা হয় নিশ্চিতিকরণ পক্ষপাত কমাতে।
- প্রথমে সমতল ΛCDM মডেলে DESI BAO একায় মানানসই করা হয়; পরে বড়-বিস্ফোরণ নিউক্লিওসিন্থেসিস পূর্বধারণা এবং প্ল্যাঙ্ক/ACT মহাজাগতিক microwave পটভূমি (CMB)-এর সঙ্গে একত্র করা হয়।
- ডার্ক শক্তিকে দুইভাবে শিথিল করা হয়: স্থির w (wCDM) এবং সময়-পরিবর্তনশীল w_0, w_a (w_0w_aCDM)।
- DESI+CMB-কে আলাদা করে তিনটি Type-Ia supernova সংকলন—Pantheon+, Union3 ও DES-SN5YR—এর সঙ্গে মিলিয়ে দেখা হয়, যাতে সুবিধামতো একটি নমুনা বেছে নেওয়ার ঝুঁকি কমে।
- Summed নিউট্রিনো ভরের সীমা বের করা হয় এবং ডার্ক-শক্তি পটভূমি শিথিল করা করলে সীমা কীভাবে বদলায় তা দেখা হয়।

তারা কী পেয়েছেন

DESI BAO একা মানক মডেলের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ। পদার্থ ঘনত্ব $\Omega_m = 0.295 \pm 0.015$। স্থির-$w$ মডেলে $w = -0.99^{+0.15}_{-0.13}$—মহাজাগতিক স্থিরিরে -1-এর প্রায় ওপরেই।

CMB ও গ্রাভিটেশনাল লেন্সিং-এর সঙ্গে DESI একত্র করলে $\Omega_m = 0.307 \pm 0.005$ এবং $H_0 = 67.97 \pm 0.38$ km s^{-1} Mpc^{-1} পাওয়া যায়; নিউক্লিওসিন্থেসিস ও CMB ধ্বনিগত পরিসরের বিকল্প সমন্বয়ে 68.52 ± 0.62।

সময়-পরিবর্তনশীল মডেলে সম্মিলিত ডেটাসেটে বিবর্তনশীল ডার্ক শক্তি সমর্থন করে। ধরন হলো $w_0 > -1, w_a < 0$। DESI+CMB-

তে সমর্থনরে মাত্রা 2.6σ। সুপারনোভা যোগ করলে Pantheon+, Union3, DES-SN5YR অনুযায়ী যথাক্রমে 2.5σ, 3.5σ, 3.9σ। Sigma মানক-মডলে প্রত্যাশা থকেে পরসিংখ্যানগত দূরত্ব; পদার্থবদ্যিায় আবষ্কিার দাবি করার প্রচলতি সীমা 5σ, এবং এমনকি 5σ-ও ব্যাখ্যা সঠকি—এটি নজিে প্রমাণ করে না। নর্দিশেকি।

নউিট্রনিো ভর মুক্ত রাখলে DESI+CMB summed ভররে ওপর কঠোর সীমা দয়ে—**0.072 eV-এর নচিে (95% আস্থা)**। কন্তিু লখেকরো স্পষ্ট বলনে, পটভূমি বস্তিার ΛCDM থকেে সরে যতেে দলিে এই সীমা উল্লখেযোগ্যভাবে দুর্বল হয়।

এই ফল কী প্রমাণ করে না

- ডার্ক শক্তি **ববির্ততি হয়**—এটি প্রমাণ হয়নি। DESI BAO একা মহাজাগতকি স্থরিরে সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ; ইঙ্গতি শুধু সম্মলিতি মানানসই ও সমৃদ্ধতর দুই-প্যারামটিার মডলেে।
- "ΛCDM dead" বা "Einstein ভুল"—এটি নয়। সর্বোচ্চ 3.9σ এখনও 5σ আবষ্কিার সীমার নচিে, এবং DESI একা মানক মডলেে ভালো মানানসই।
- সংকতে **নমুনা-স্বাধীন নয়**। সুপারনোভা compilation বদলালে তাৎপর্য 2.5σ থকেে 3.9σ—এক sigma-এর বশেি বদলায়। বাহ্যকি ডটোসটে পছন্দে এত সংবদেনশীলতা থাকা ফল অনুসরণযোগ্য ইঙ্গতি, bankable পরমিাপ নয়।
- DESI-একা $w_0 > -1$ lean আংশকিভাবে **লাল-সরণ 0.51-এর একটি অস্বাভাবকি গ্যালাক্সি বন্দিু** দ্বারা টানা। কন্তিু লখেকরো এটকিে পরসিংখ্যানগত ওঠানামা হসিবেে ধরে নয়েন এবং DESI-র সব নম্ন-লাল-সরণ ($z < 0.6$) পরমিাপ পুরোনো SDSS পরমিাপ দয়িে প্রতস্থিাপন করওে সম্মলিতি ডার্ক-শক্তি ফল প্রায় অপরবির্ততি দখোন। তাই অস্বাভাবকি বন্দিু সম্মলিতি ইঙ্গতিকে ধরে রাখছে না।
- নউিট্রনিো-ভর সীমা **মডলে-স্বাধীন নয়**। ΛCDM পটভূমি ধরে কঠোর; ডার্ক শক্তি শথিলি করা করলে সীমা-ও শথিলি করে।

প্রমাণ কতটা শক্ত?

দূরত্ব পরমিাপ হসিবেে অত্যন্ত শক্তশিালী। BAO মহাজাগতকিতত্ত্বর সবচয়েে পরষ্কিার মানদণ্ডগুলোর একটি; DESI এখন পর্যন্ত সবচয়েে নর্ভিুল; ব্লাইন্ড বশি্লষেণ anticipated উত্তররে দকিে পদ্ধতি সামঞ্জস্য করার ঝুঁকি কমায়।

ডার্ক-শক্তি দাবি হসিবেে সত্যইি আকর্ষণীয় কন্তিু নর্ণিায়ক নয়। DESI+CMB-এর 2.6σ, restrictive সুপারনোভা সটে 3.9σ—আরও পর্যবক্ষেণ চাওয়ার মতো, মডলে overthrow করার মতো নয়। সতর্কতার প্রধান কারণ সুপারনোভা নমুনাগুলোর ছড়য়িে পড়া। ধনাত্মক দকি হলো লখেকরো অস্বাভাবকি BAO বন্দিুর ওপর ফল নর্ভির করছে কি না চাপ-পরীক্ষা করছেনে।

গবষেণাপত্র তনি সুপারনোভা নমুনার তাৎপর্য আলাদা করে প্রতবিদেন করে, শুধু সবচয়েে বড় সংখ্যা তুলে ধরে না; নউিট্রনিো ফলরে মডলে নর্ভিরতা-ও বলে। Overreach মূল গবষেণাপত্ররে চয়েে retelling-এ বশেি।

কনে এটি গুরুত্বপূর্ণ

প্রায় 25 বছর ডার্ক শক্তি এবং মহাজাগতকি স্থরি প্রায় interchangeable ভাষায় ব্যবহৃত হয়ছে, কারণ পরমিাপগুলো $w = -1$-এর সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ ছলি। DESI এমন নর্ভিুলতায় পৌঁছছে যে অন্য ডটোসটেরে সঙ্গে একত্র করে সইে -1 সময়রে সঙ্গে drift করে কি না প্রশ্ন করা যায় এবং উত্তর পুরোপুরি সমতল "না" নয়। এটি তথ্য সক্ষমতার বাস্তব সরণ।

একই নর্ভিুলতা আবার দখোয় ইঙ্গতি কত শর্তসাপক্ষে: কছিু তথ্য সমন্বয়ে জোরালো, অন্যটতিে শান্ত; বশিষে করে কোন সুপারনোভা তালকিা নওেয়া হয় তার ওপর নর্ভিরশীল। তাই সঠকি অবস্থান খারজিও নয়, premature revolutionও নয়। বড়তর DESI প্রকাশ—DR2 2025-এ

এসছে—ও স্বাধীন সুপারনোভা তথ্য ইঙ্গতি-টকি শক্ত করে নাকি মুছে দেয় তা দখো দরকার। মহাজাগতকিতত্ত্বে বাস্তব “maybe” দখেতে এমনই।

সংক্ষপ্তি সারাংশ

DESI ছয় মলিয়িনরেও বশেি বস্তু দয়িে মহাজাগতকি বস্তিাররে এখন পর্যন্ত সবচয়েে নর্িভুল BAO মানক মানদণ্ড মপেছে। **DESI একা ΛCDM ও স্থর্ি ডার্ক শক্তরি সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ।** CMB এবং সুপারনোভা নমুনা যোগ করে সময়-পরবির্তনশীল w_0w_a মডলে মানানসই করলে ববির্তনশীল ডার্ক শক্তরি সমর্থনরে মাত্রা দখো যায়, কন্তিু শক্তি ডটোসটে অনুযায়ী 2.5σ **থকেে** 3.9σ। এটি আকর্ষণীয় ইঙ্গতি, আবষ্কিার নয়; প্রচলতি 5σ সীমার নচিে এবং সুপারনোভা তালকিা-সংবদেনশীল। ডার্ক শক্তি ববির্ততি হতে পার—DESI প্রশ্নটকি নর্িভুল করছে; উত্তর এখনো দয়েনি।

উৎস

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