The CLEAN PAPER

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

DESI የcosmic ruler ብቻውን ΛCDMን ይስማማል፤ evolving dark energy ፍንጭ የሚመጣው ዳታዎች ሲጣመሩ ነው

DESI ከ6 million በላይ objects የመጀመሪያ ዓመት BAO dataን በblind analysis ለክቷል። BAO ብቻውን constant dark energy ካለው ΛCDM ጋር ይስማማል። DESI+CMB+supernovae በtime-varying model ውስጥ evolving dark energyን 2.5σ–3.9σ ደረጃ ይመርጣሉ፣ ግን የጥንካሬው መጠን በsupernova sample ምርጫ ላይ ይለዋወጣል። ይህ ጠቃሚ ፍንጭ ነው፣ discovery አይደለም።

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

ከድምፅ የተሠራ የኮስሚክ መለኪያ

በመጀመሪያው ዩኒቨርስ፣ ኮከቦች ከመፈጠራቸው በፊት፣ ከመደበኛ ቁስና ብርሃን የተሠራው ሙቅ plasma በግፊት ሞገዶች ይ“ጮህ” ነበር። እነዚህ ሞገዶች ከብርሃን ፍጥነት ግማሽ በላይ ይጓዙ ነበር፣ ዩኒቨርሱ በቂ እስኪቀዘቅዝና አቶሞች እስኪፈጠሩ ድረስ። ከዚያ የድምፁ ሂደት ቆመ፣ እና በmatter ስርጭት ውስጥ አንድ የተመረጠ ርቀት እንደ ቅሪት ቀረ። ይህ *sound horizon* በዛሬው ዩኒቨርስ 150 megaparsecs ገደማ — 490 ሚሊዮን ብርሃን-years ገደማ — ነው፣ እና በዚያ ርቀት ተለያይተው የሚገኙ ጋላክሲዎች ትንሽ ከፍ ያለ ዕድል እንዳላቸው በሁሉም አቅጣጫና ዘመን ይታያል። ይህ baryon ድምፃዊ oscillation (BAO) ይባላል፣ እና cosmologists እንደ መደበኛ ruler ይጠቀሙበታል፤ ይህ የተቀዘቀዘ ሚዛን በተለያዩ ርቀቶች ላይ በሰማይ ምን ያህል ትልቅ እንደሚታይ በመለካት የዩኒቨርሱን የመስፋፋት ታሪክ ይከታተላሉ።

DESI ይህን BAO ሚዛን በጋላክሲዎች፣ ኳሳሮች እና በሩቅ የጋዝ ደመናዎች Lyman-alpha forest ውስጥ ይለካል። የመጀመሪያ ዓመት ዳታው ከ6 ሚሊዮን በላይ ነገሮችን፣ ከሬድሺፍት 0.1 እስከ 4.2 በሰባት ሬድሺፍት bins ውስጥ ያካትታል። የሰው ተስፋ ውጤቱን እንዳይጎዳ፣ ቡድኑ ትንተናውን *blind* አድርጎ አካሄደ፤ methods እስኪዘጉ ድረስ ኮስሞሎጂያዊ answerን ከራሳቸው ደብቀው ነበር። በትልቅ ልዩነት፣ እስካሁን የተደረገው ትክክለኛው BAO መለኪያ ነው።

DESI በKitt Peak፣ Arizona ላይ ባለው Nicholas U. Mayall 4-metre Telescope ላይ ተጭኗል። መሣሪያው ሺዎች optical fibresን ወደ spectrographs ይመግባል፣ በሰማይ ያሉ ቦታዎችን ለmillions of ጋላክሲዎች እና ኳሳሮች ወደ ስፔክትራ እና redshifts ይቀይራል።

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

DESI ምንድን ነው?

ጨለማ ኢነርጂ Spectroscopic Instrument በKitt Peak፣ Arizona ላይ በNicholas U. Mayall 4-metre telescope የተጫነ spectrograph ነው። ጨለማ ኢነርጂውን በቀጥታ አያይም — ጨለማ ኢነርጂ ብርሃን ስለማይለቅ ማንም በቀጥታ ማየት አይችልም። በምትኩ በአንድ ጊዜ የ5,000 ጋላክሲዎች እና ኳሳሮች ገደማ ስፔክትራን ይመዘግባል፣ የዩኒቨርሱ መስፋፋት ብርሃናቸውን ምን ያህል እንደዘረጋው በመለካት ሬድሺፍትን ያወጣል፤ ከዚያም የmillions of ነገሮች ሶስት-ልኬት ካርታ ይገነባል። ጨለማ ኢነርጂ የሚገመተው ይህ ካርታ cosmic expansion በጊዜ እንዴት እንደተለወጠ ከሚያሳየው ነው። ከrobotic fibres እስከ ድምፃዊ ruler ያለውን ሙሉ ሂደት ለማየት How DESI works።

ከዚህ ውጤት በሕዝብ መካከል የተስፋፋው ርዕስ ጨለማ ኢነርጂ ምናልባት ቋሚ አይደለም — የዩኒቨርሱን መስፋፋት የሚያፋጥነው ምስጢራዊ ነገር በጊዜ እየደከመ ሊሆን ይችላል፤ የመደበኛ ኮስሞሎጂያዊ ሞዴሉንም ሊበጥስ ይችላል — የሚለው ነበር። ይህ ከአየር የተፈጠረ አባባል አይደለም፤ ግን በቀላሉ ሊጋነን ይችላል። ትክክለኛው ትርጉም ይበልጥ ልዩ ነው፤ የDESI ራሱ መደበኛ ruler ብቻውን ሲታይ plain-vanilla መደበኛ ሞዴሉን ይስማማል። አዲስ ነገር ሊኖር የሚችል ፍንጭ DESIን ከሌሎች ዳታዎች ጋር ሲያጣምሩ ብቻ ይታያል — እና ፍንጩ ምን ያህል ጠንካራ እንደሚመስል ከየትኛው ውጫዊ የመረጃ ስብስብ ጋር እንደተጣመረ ይለዋወጣል።

DESI BAO ብቻውን ከቋሚ ጨለማ ኢነርጂ — ኮስሞሎጂያዊ constant — ጋር ይስማማል። የ*evolving* ጨለማ ኢነርጂ ምልክት የሚመጣው DESIን cosmic microwave background እና ሱፐርኖቫ sample ጋር ሲያጣምሩ ብቻ ነው፤ ጥንካሬውም የትኛው ሱፐርኖቫ sample እንደተጠቀመ ይለዋወጣል።

መደበኛ ruler እና ጨለማ ኢነርጂ ሊለወጥ የሚችልባቸው ሁለት መንገዶች

BAO ሚዛን *መደበኛ ruler* ነው። እውነተኛ ርዝመቱን ከቀደምት-universe ፊዚክስ ስለምናውቅ፣ ያንን ከተወሰነ ርቀት ላይ ከሚታየው apparent size ጋር ማነጻጸር ዩኒቨርሱ እስከዚያ ድረስ ምን ያህል እንደተስፋፋ ይነግረናል። በብዙ ርቀቶች ላይ ሲለካ ሙሉ የexpansion ታሪክን ይከታተላል፤ ይህም ጨለማ ኢነርጂ የሚቆጣጠረው ነገር ነው።

በመደበኛ ሞዴል ΛCDM ውስጥ ጨለማ ኢነርጂ *ኮስሞሎጂያዊ constant* ነው፤ በጊዜ የማይለወጥ የempty ጠፈር ኢነርጂ ጥግግት። ባህሪው በequation-of-ሁኔታ መለኪያ w ይገለጻል፤ እና እውነተኛ ኮስሞሎጂያዊ constant ከሆነ $w = -1$ ነው፤ በሁሉም ቦታና ጊዜ።

ይህን ለመፈተን ሁለት መንገዶች አሉ። ቀላሉ w ከ-1 የተለየ ሌላ ቋሚ ቁጥር እንዲሆን መፍቀድ — wCDM። ይበልጥ ሰፊው w ዩኒቨርሱ ሲስፋፋ እንዲለወጥ መፍቀድ ነው፤ በሁለት ቁጥሮች w_0 — ዛሬ ያለው ዋጋ — እና w_a — ምን ያህል ፈጥኖ እንደሚለወጥ — ይገለጻል። w_0w_aCDM ወደ ΛCDM የሚመለሰው $w_0 = -1,\ w_a = 0$ በሆነ ነጥብ ነው። $w_0 > -1$ እና $w_a < 0$ የሚመረጡበት ውጤት "evolving ጨለማ ኢነርጂ" የሚለውን ያመለክታል፤ ጨለማ ኢነርጂ በቀድሞው ዩኒቨርስ ይበልጥ repulsive ነበር፤ አሁን ግን እየተቀነሰ ነው የሚለው ሀሳብ።

ደራሲዎቹ ምን አደረጉ?

- ከDESI የመጀመሪያ ዓመት መረጃ — ጋላክሲዎች፣ ኳሳሮች እና Lyman-alpha forest — በ6 ሚሊዮን በላይ ነገሮችና በሰባት ሬድሺፍት bins $0.1 < z < 4.2$ ውስጥ BAO ሚዛንን ለኩ።
- ትንተናውን blind አድርገው ኮስሞሎጂያዊ ውጤትን methods እስኪዘጉ ድረስ ደበቁ፤ ማረጋገጫ biasን ለመቀነስ።
- መደበኛ flat ΛCDMን መጀመሪያ በDESI BAO ብቻ ፈተኑ፤ ከዚያ big-bang-nucleosynthesis prior እና

Planck/ACT cosmic microwave background (CMB) ጋር አጣመሩ።
- ሞዴሉን በሁለት መንገድ አስፋፉ፤ constant ጨለማ-ኢነርጂ w (wCDM) እና ጊዜ-varying $w_0 w_a$ ($\mathrm{w_0 w_a}$CDM)።
- ጊዜ-varying ሞዴሉን DESI+CMB ከሶስት Type Ia ሱፐርኖቫ compilations — Pantheon+፣ Union3፣ DES-SN5YR — ጋር በተለያየ ጊዜ በማጣመር ፈተኑ።
- የneutrinos summed mass ገደብን አስቀመጡ፣ እና ጨለማ-ኢነርጂ background ከΛCDM እንዲለይ ሲፈቀድ ያ ገደብ እንዴት እንደሚለወጥ አዩ።

ምን አገኙ?

- **DESI BAO ብቻውን መደበኛ ሞዴሉን ይስማማል።** Matter ጥግግት $\Omega_m = 0.295 \pm 0.015$ ነው፣ ጨለማ ኢነርጂ ቋሚ የተለየ w እንዲኖረው ሲፈቀድ $w = -0.99^{+0.15}_{-0.13}$ — በኮስሞሎጂያዊ constant -1 ላይ በቀርበው ቦታ።
- ከCMB እና lensing ጋር DESI $\Omega_m = 0.307 \pm 0.005$ እና $H_0 = 67.97 \pm 0.38$ km s^{-1} Mpc^{-1} ይሰጣል (68.52 ± 0.62 ከnucleosynthesis እና CMB ድምፃዊ ሚዛን ጋር)።
- **በጊዜ-varying ሞዴል ውስጥ ጥምረቶቹ evolving ጨለማ ኢነርጂውን ይመርጣሉ** — $w_0 > -1$ እና $w_a < 0$። DESI+CMB ብቻ 2.6σ preference አለው፤ ሱፐርኖቫ sample ሲጨመር Pantheon+፣ Union3 ወይም DES-SN5YR እንደተጠቀመ 2.5σ፣ 3.5σ ወይም 3.9σ ይሆናል። Sigma ውጤቱ ከመደበኛ-ሞዴል expectation ምን ያህል ርቆ እንዳለ ይለካል፤ 5σ በፊዚክስ ውስጥ የdiscovery ተለመደ ገደብ ነው፣ እና ከ5σ በታች የሆነ ውጤት ትርጉሙ ትክክል ነው ማለት አይደለም (መመሪያ)።
- Summed neutrino mass ነፃ ሲተው ለDESI+CMB ከ0.072 eV በታች (95% confidence) የሆነ ጠንካራ ገደብ ይገኛል። ግን ጨለማ-ኢነርጂ background ከΛCDM እንዲለይ ሲፈቀድ ይህ ገደብ በግልጽ ይላላል።

ይህ ጥናት የማያረጋግጠው

- **ጨለማ ኢነርጂ እየተለወጠ መሆኑን አያሳይም።** DESI ራሱ መደበኛ ruler ከኮስሞሎጂያዊ constant ጋር ይስማማል፤ የዝግመተ ለውጥ ፍንጭ የሚታየው *combined fits* ውስጥ እና በሁለት-መለኪያ ሞዴል ብቻ ነው።
- "ΛCDM ሞቷል" ወይም "አይንስታይን ተሳሳተ" ማለት አይደለም። ጠንካራው 3.9σ ከ5σ discovery convention በታች ነው፤ መደበኛ ሞዴልም DESI ብቻውን ሲታይ ጥሩ fit ነው።
- **ውጤቱ sample-independent አይደለም።** ሱፐርኖቫ compilation ሲቀየር significance ከ2.5σ እስከ 3.9σ ይለዋወጣል። በexternal የመረጃ ስብስብ ምርጫ ላይ ይህን ያህል የሚያወዛውዝ ምልክት ሊከተል የሚገባ ፍንጭ ነው፣ የተዘጋ መለኪያ አይደለም።
- DESI-*alone* በ$w_0 > -1$ ያለው አዝማሚያ በከፊል ከሬድሺፍት 0.51 ጋላክሲ bin ከመደበኛ ሞዴል ትንሽ ከፍ ብሎ ስለተቀመጠ ነው። ጥናቱ ይህን እንደ statistical fluctuation ይመለከታል፣ እና የDESI ዝቅተኛ-ሬድሺፍት ($z < 0.6$) መለኪያዎችን በአሮጌ SDSS ውጤቶች ሙሉ በሙሉ ሲተኩ ጨለማ-ኢነርጂ ውጤት እንዳይቀየር ያሳያል። ልዩ ነጥቡ DESIን ብቻውን ይጎትታል፣ ግን combined hintን አይሸከምም።
- Neutrino-mass limit **ሞዴል-independent አይደለም።** ጠንካራ የሚሆነው background expansion በΛCDM ሲቆይ ነው፤ ያንን ሲያላሉ ገደቡም ይላላል።

ማስረጃው ምን ያህል ጠንካራ ነው?

- **እንደ ርቀት መለኪያ በጣም ጠንካራ።** BAO ruler በcosmology ውስጥ ንጹህ ከሆኑ መሣሪያዎች አንዱ ነው፤ DESI ደግሞ እስካሁን ትክክለኛው ነው። Blind ትንተና የሚፈለገውን መልስ ወደ ዳታ እንዳንገባ ትክክለኛ መከላከያ ነው።
- **እንደ ጨለማ-ኢነርጂ አባባል በእውነት አስደሳች፤ ግን ወሳኝ አይደለም።** DESI+CMB 2.6σ ሲሆን ከጠንካራው ሱፐርኖቫ ስብስብ ጋር 3.9σ ይደርሳል። ይህ ተጨማሪ telescope ጊዜ የሚገባው ውጤት ነው፤ ሞዴሉን የሚያፈርስ አይደለም። ጥንቃቄው በሱፐርኖቫ samples መካከል ያለው ስፋት ነው። ደራሲዎቹ በተጨማሪ በጣም anomalous የሆነ BAO point ዋና ውጤቱን እንዳይመራ ፈትነዋል።
- **ጥናቱ ራሱን በጥንቃቄ ይገልጻል፤** significanceን ሶስት መንገድ ይሰጣል እንጂ ትልቁን ብቻ አይመርጥም፤ የneutrino ውጤት የሞዴል-dependenceንም ያሳያል። ማጋነኑ በጽሑፉ ውስጥ ሳይሆን በድጋሚ ንግግር ውስጥ ይበዛል።

ለምን ይጠቅማል?

ለ25 ዓመታት “ጨለማ ኢነርጂ” እና “ኮስሞሎጂያዊ constant” በተግባር እንደ አንድ ቃል ተጠቅመዋል፤ ምክንያቱም ሁሉም መለኪያዎች $w = -1$ ከሚለው ጋር ይስማሙ ነበር። DESI ከሌሎች መረጃ ጋር ሲጣመር “ያ -1 በጊዜ ይለወጣል ወይ?” ብሎ በትክክል ሊጠይቅ የሚችል የመጀመሪያ ዳታ ስብስብ ነው፤ እና መልሱ በቀጥታ “አይ” ብቻ አይደለም። ይህ ዳታው ምን ሊያደርግ እንደሚችል እውነተኛ ለውጥ ነው። ግን ይህ ጥራት በተመሳሳይ ጊዜ ፍንጩ ምን ያህል በሁኔታ የተገደበ እንደሆነ ያሳያል፤ በአንዳንድ መረጃ combinations ይኖራል፤ በሌሎች ይደክማል፤ በተለይ ከየትኛው ሱፐርኖቫ catalogue ጋር እንደተጣመረ ይለዋወጣል። ትክክለኛው አቋም አለመቀበልም አይደለም፤ አስቀድሞ revolution ማወጅም አይደለም። ቀጣዩ ትልቅ DESI release — DR2 በ2025 ቀድሞ ወጥቷል — እና independent ሱፐርኖቫ samplesን ማየት ነው። ይህ በcosmology ውስጥ እውነተኛ “ምናልባት” እንዴት እንደሚመስል ምሳሌ ነው።

ንጹህ ማጠቃለያ

DESI ከ6 ሚሊዮን ነገሮች በመጠቀም እስካሁን ትክክለኛውን baryon-ድምፃዊ ruler ሠርቶ የዩኒቨርሱን expansion ታሪክ ለክቷል። ብቻውን ሲታይ ያ መለኪያ ጨለማ ኢነርጂ ቋሚ ነው ከሚለው መደበኛ ሞዴል ጋር ይስማማል። ከCMB እና ሱፐርኖቫ sample ጋር ሲጣመር ግን ጨለማ ኢነርጂ በጊዜ እንደሚለወጥ የሚመርጥ ፍንጭ ይመጣል — 2.6σ እስከ 3.9σ፤ የትኛው supernovae ስብስብ እንደተጨመረ በመመስረት። ይህ እውነተኛና አስደሳች ፍንጭ ነው፤ discovery ግን አይደለም፤ ከphysicists የdiscovery ገደብ በታች ነው፤ እና ከሱፐርኖቫ የመረጃ ስብስብ ምርጫ ጋር ይለዋወጣል። ጨለማ ኢነርጂ ምናልባት እየተለወጠ ሊሆን ይችላል። DESI ይህን ጥያቄ በትክክል ሊጠየቅ እንደሚገባ አድርጎታል — ገና ግን መልሱን አልሰጠም።

ምንጮች

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