

Egymilliárd galaxison át a sötét energia legmélyebb bugyraiba

Mit mutat meg nekünk a Euclid űrteleszkóp?

Kovács András

MTA-CSFK *Lendület* Nagyskálás Szerkezet Kutatócsoport

Lendület
program



Kozmológia: az Univerzum mint *egész*.

Mai Univerzum

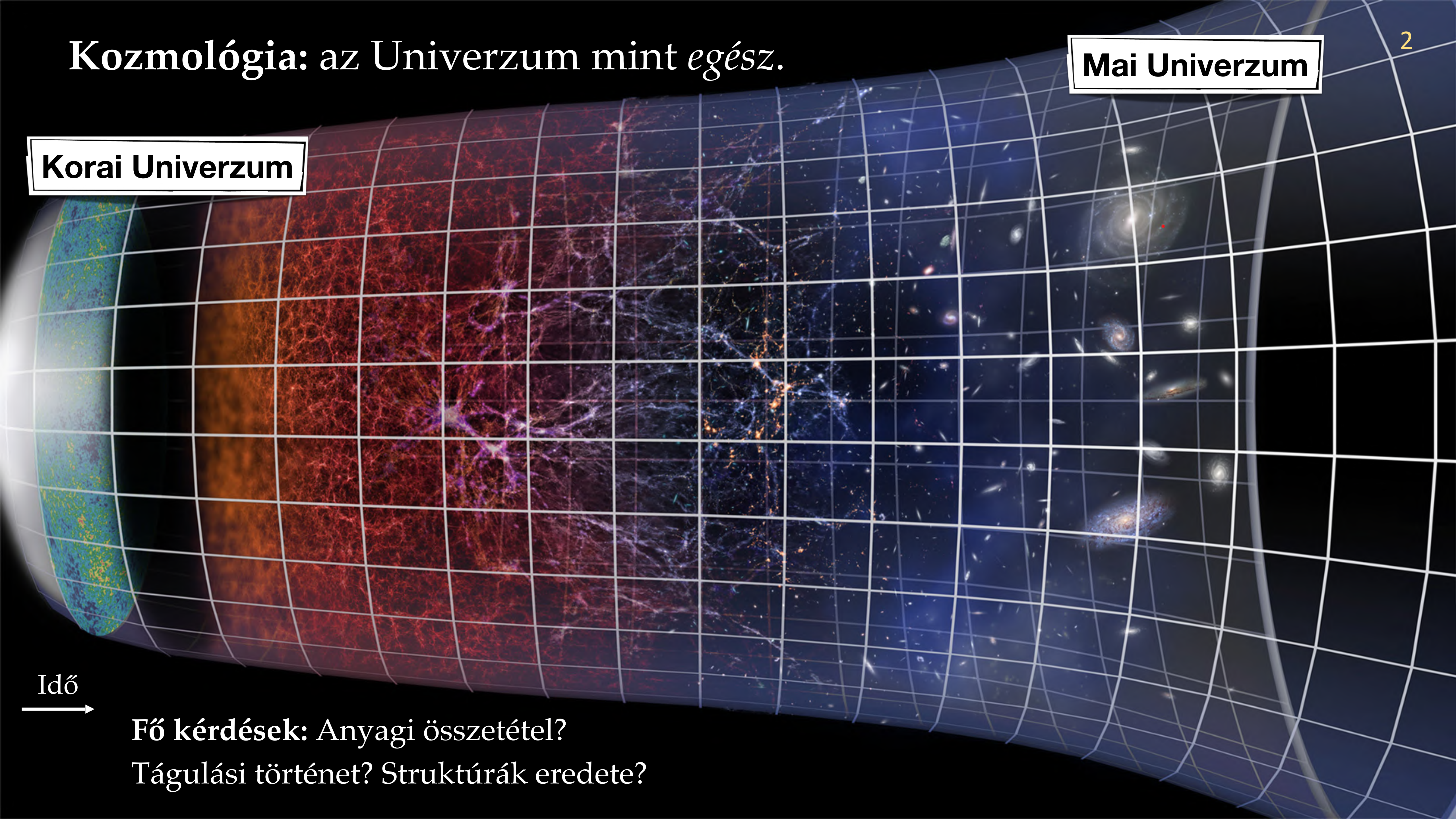
2

Korai Univerzum

Idő



Fő kérdések: Anyagi összetétel?
Tágulási történet? Struktúrák eredete?



Kozmológia: az Univerzum mint *egész*.

Korai Univerzum

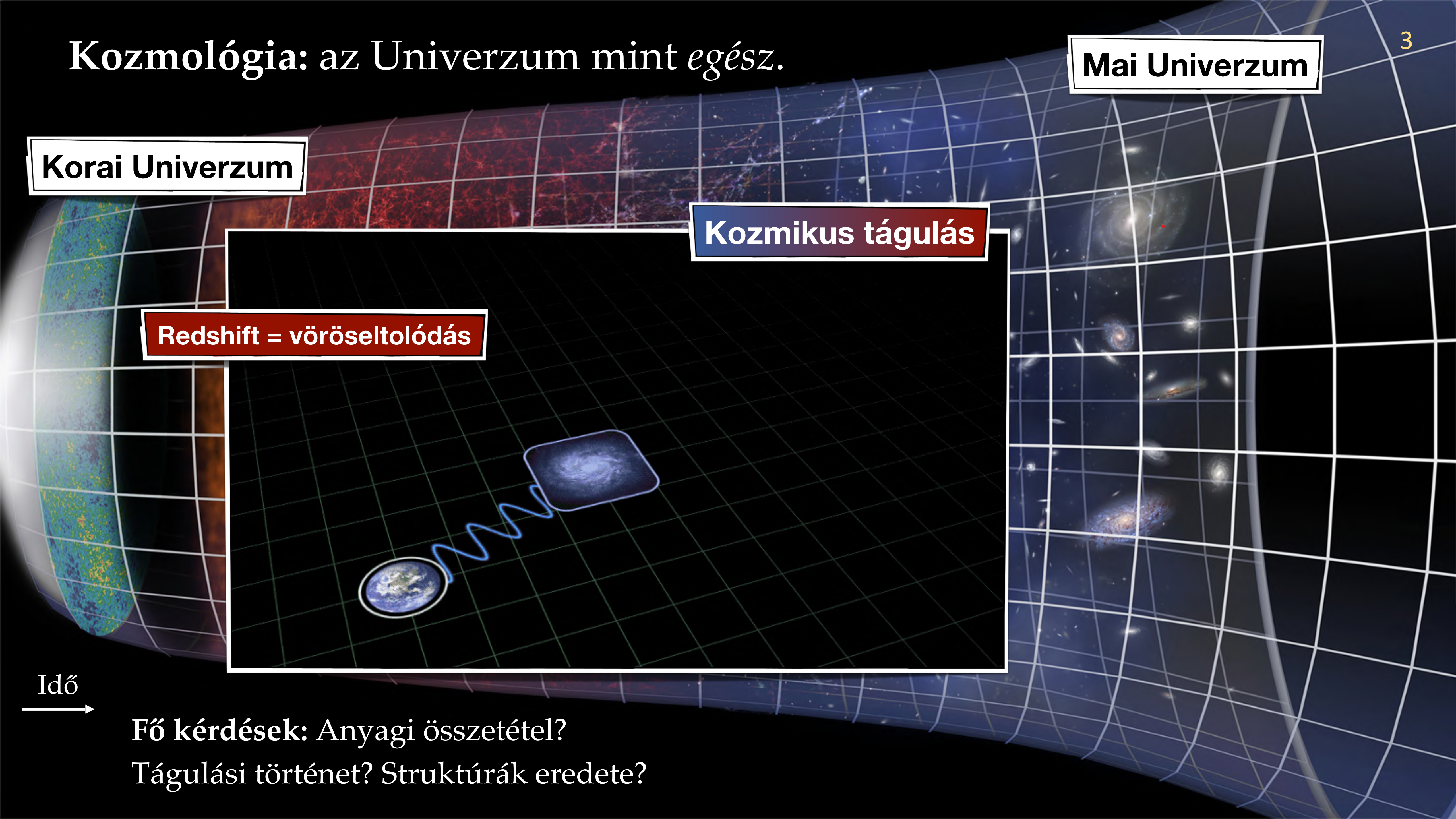
Mai Univerzum

Kozmikus tágulás

Redshift = vöröseltolódás

Idő
→

**Fő kérdések: Anyagi összetétel?
Tágulási történet? Struktúrák eredete?**

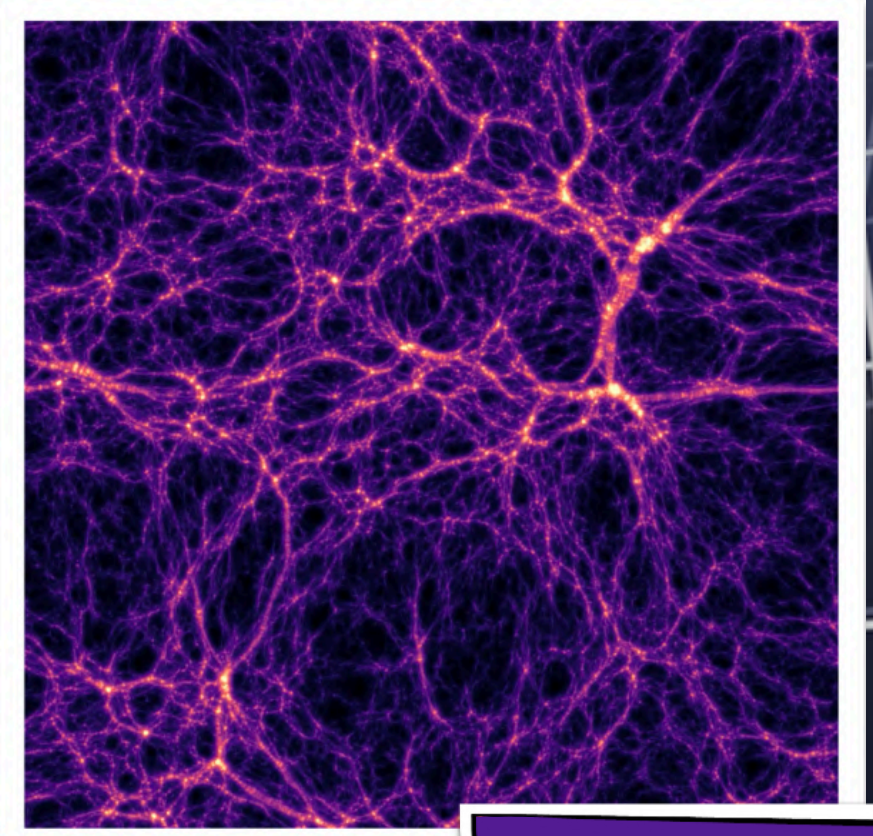
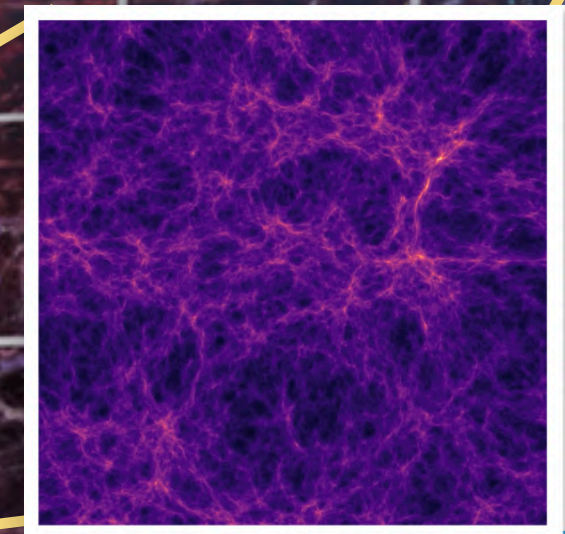
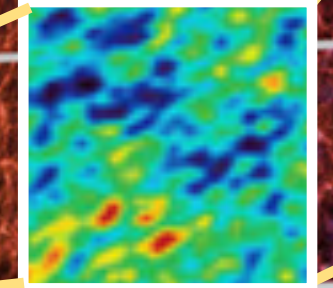


Kozmológia: az Univerzum mint *egész*.

Korai Univerzum

Mai Univerzum

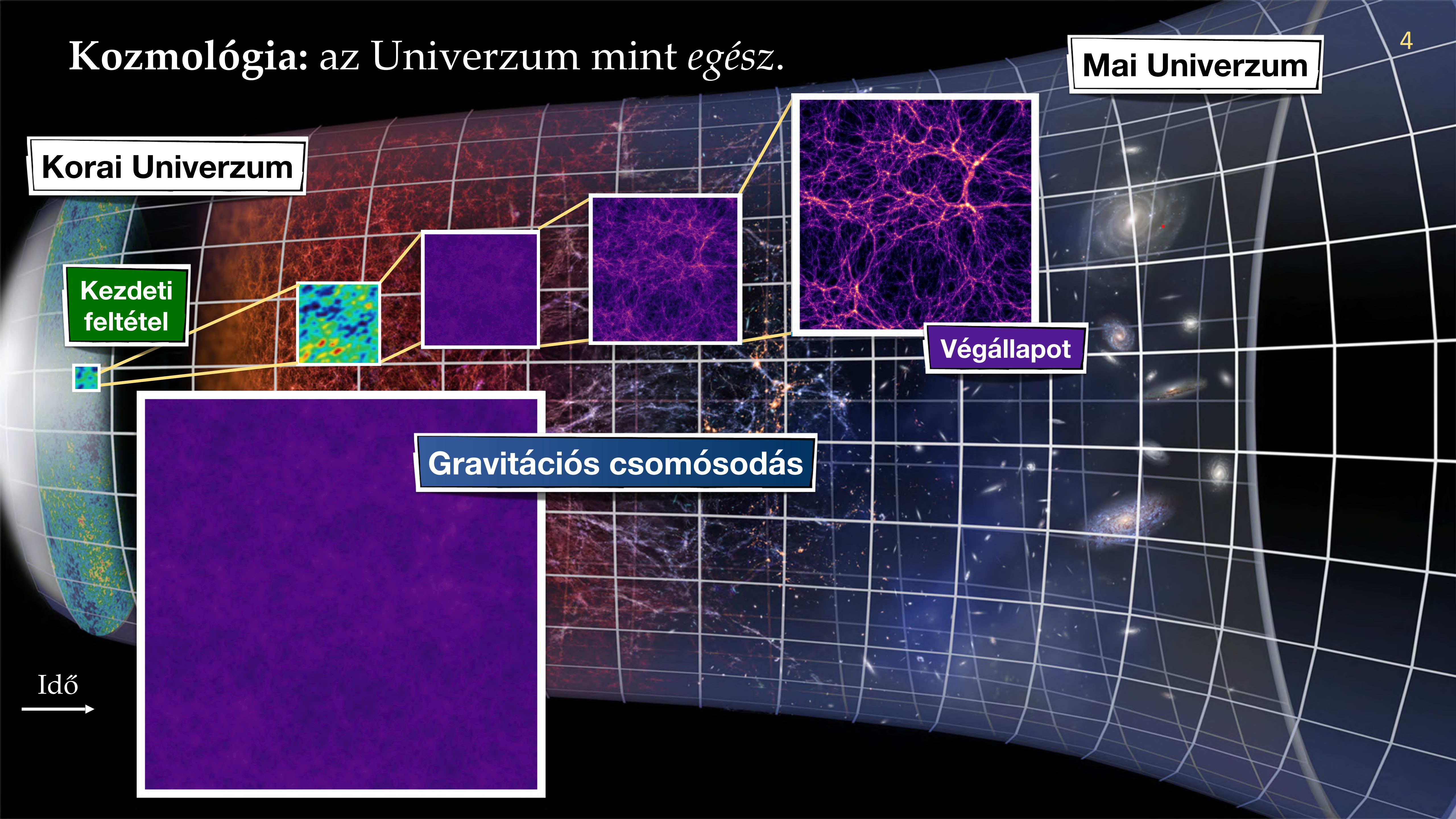
Kezdeti feltétel



Végállapot

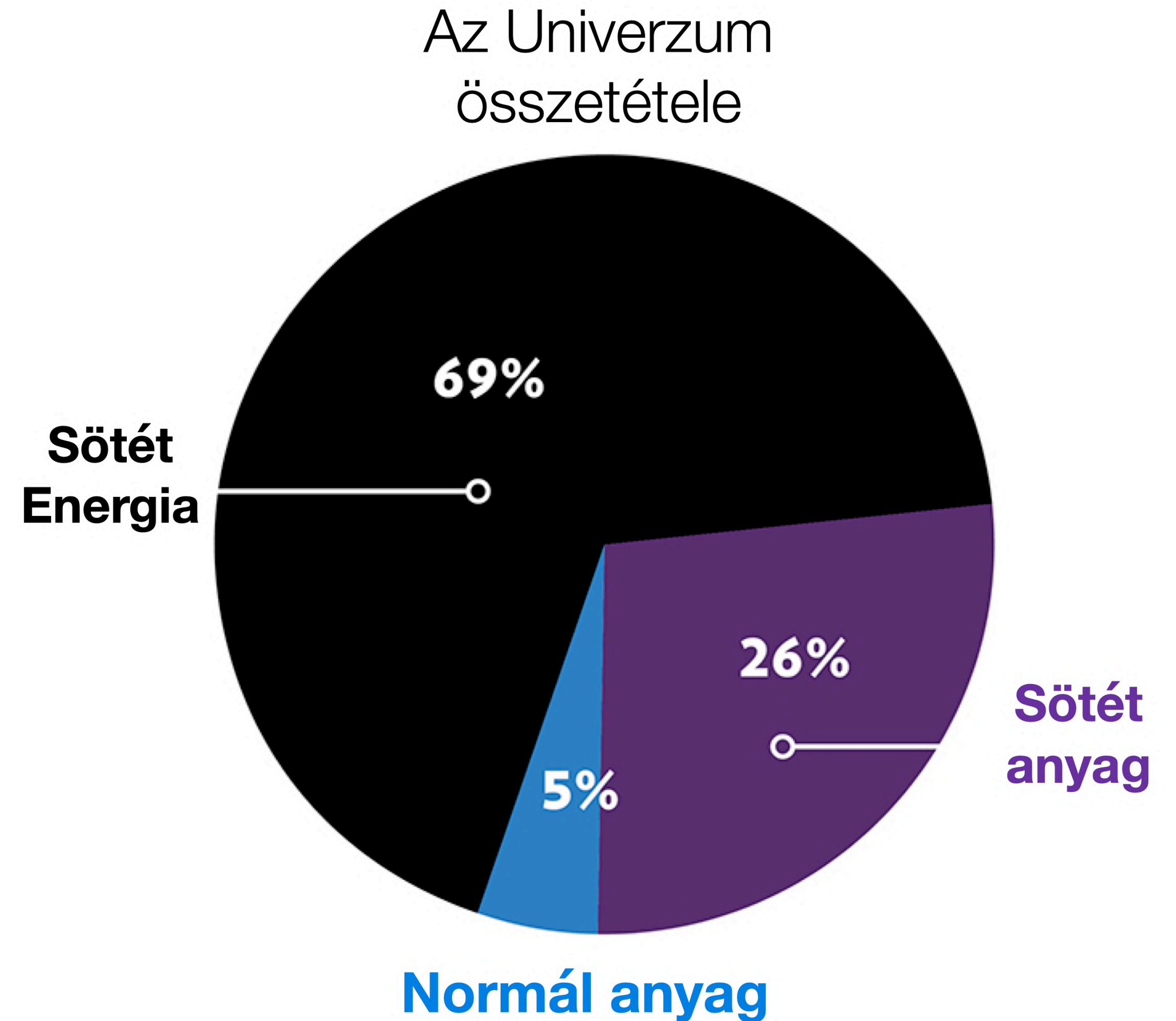
Gravitációs csomósodás

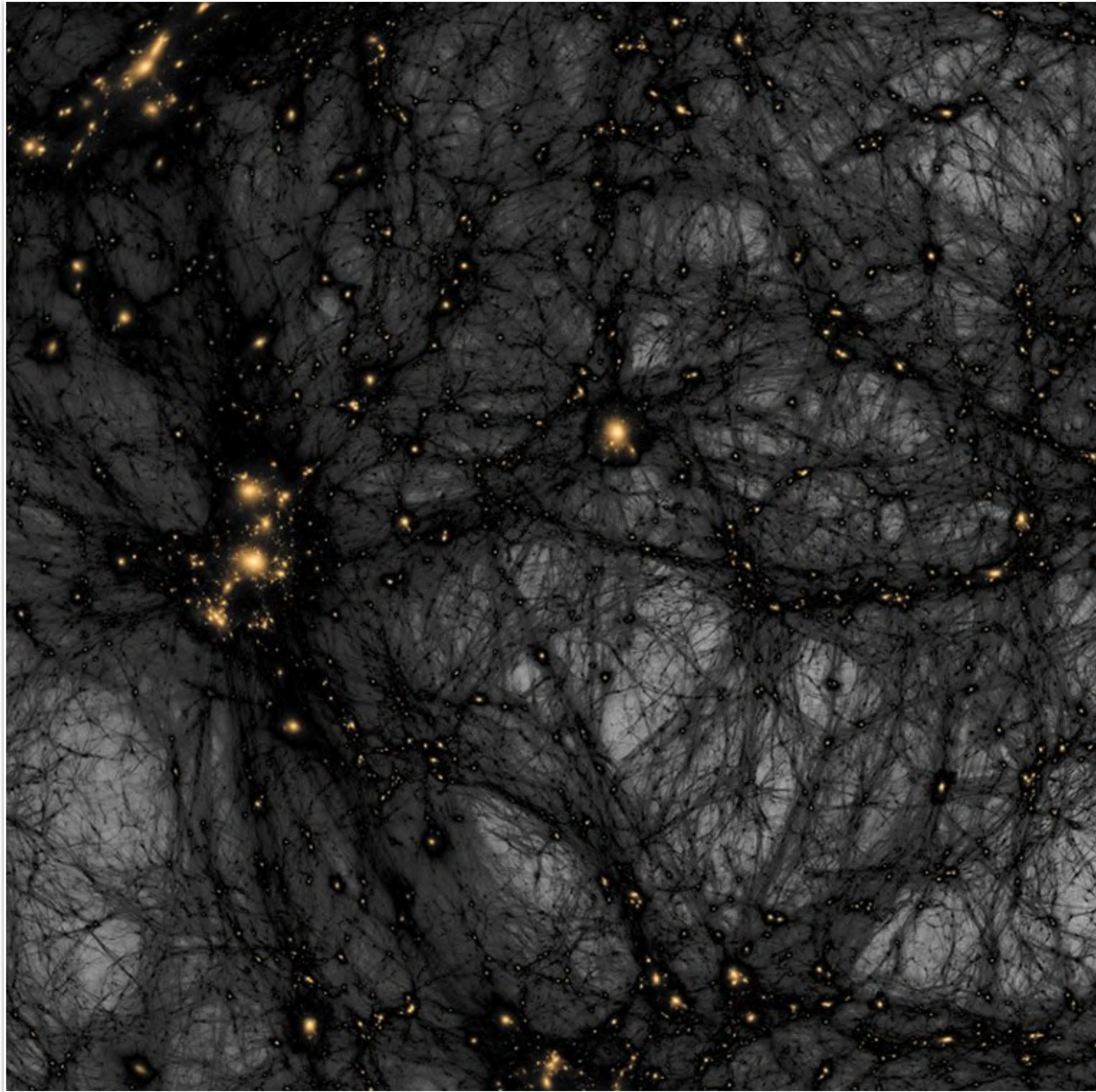
Idő
→



A világegyetem anyagai

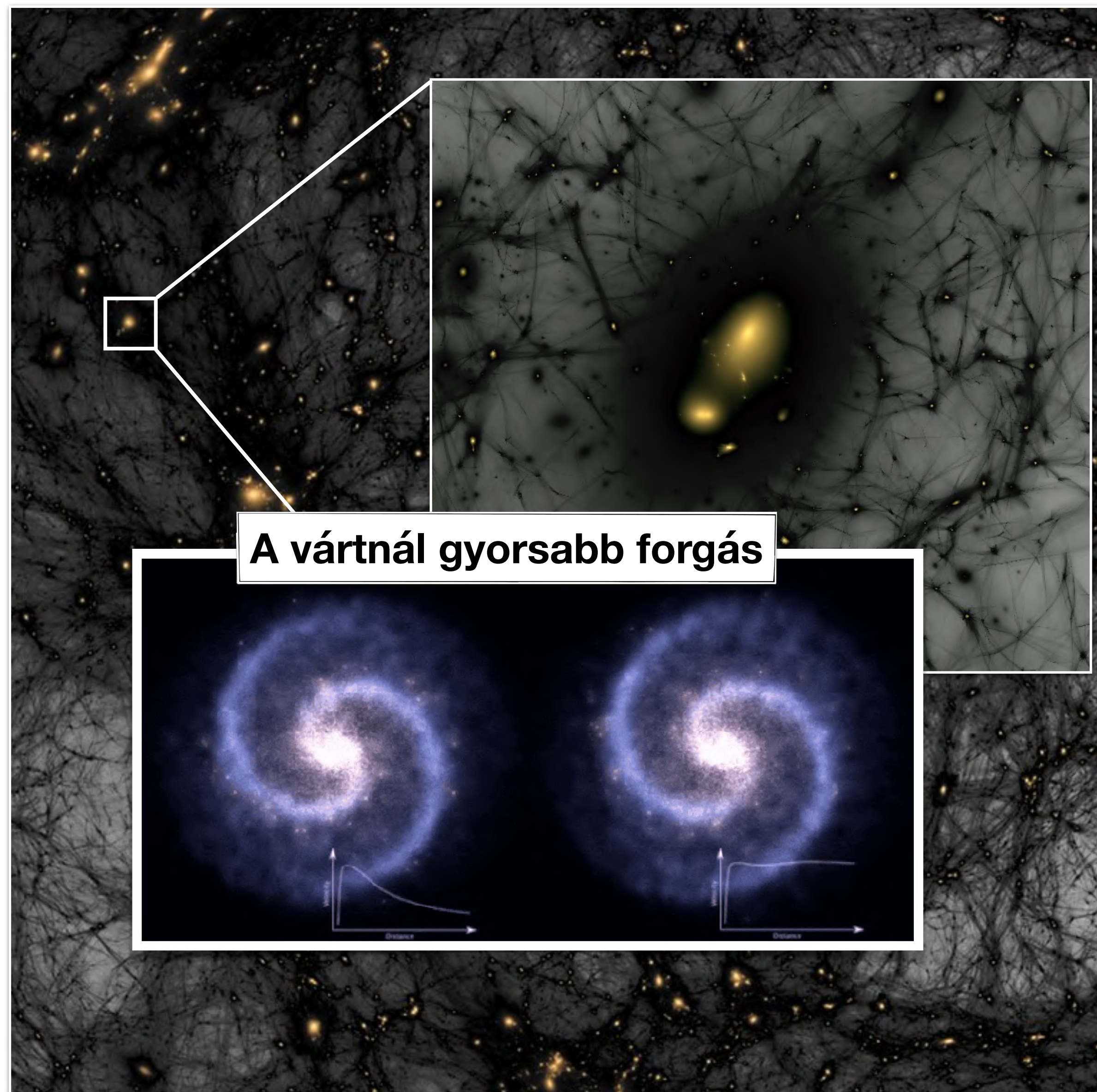
- A legnagyobb rész sötét
- ...de még a galaxisok születése és fejlődése is nehezen érthető
- Meghatározzák a tágulást és a struktúrák növekedését!





Sötét anyag

- Körülveszi a látható/atomos anyagot *valamilyen* módon
- Kb. **5-10x több** van belőle
- Úgy tűnik, hogy jelen volt már a korai univerzumban is

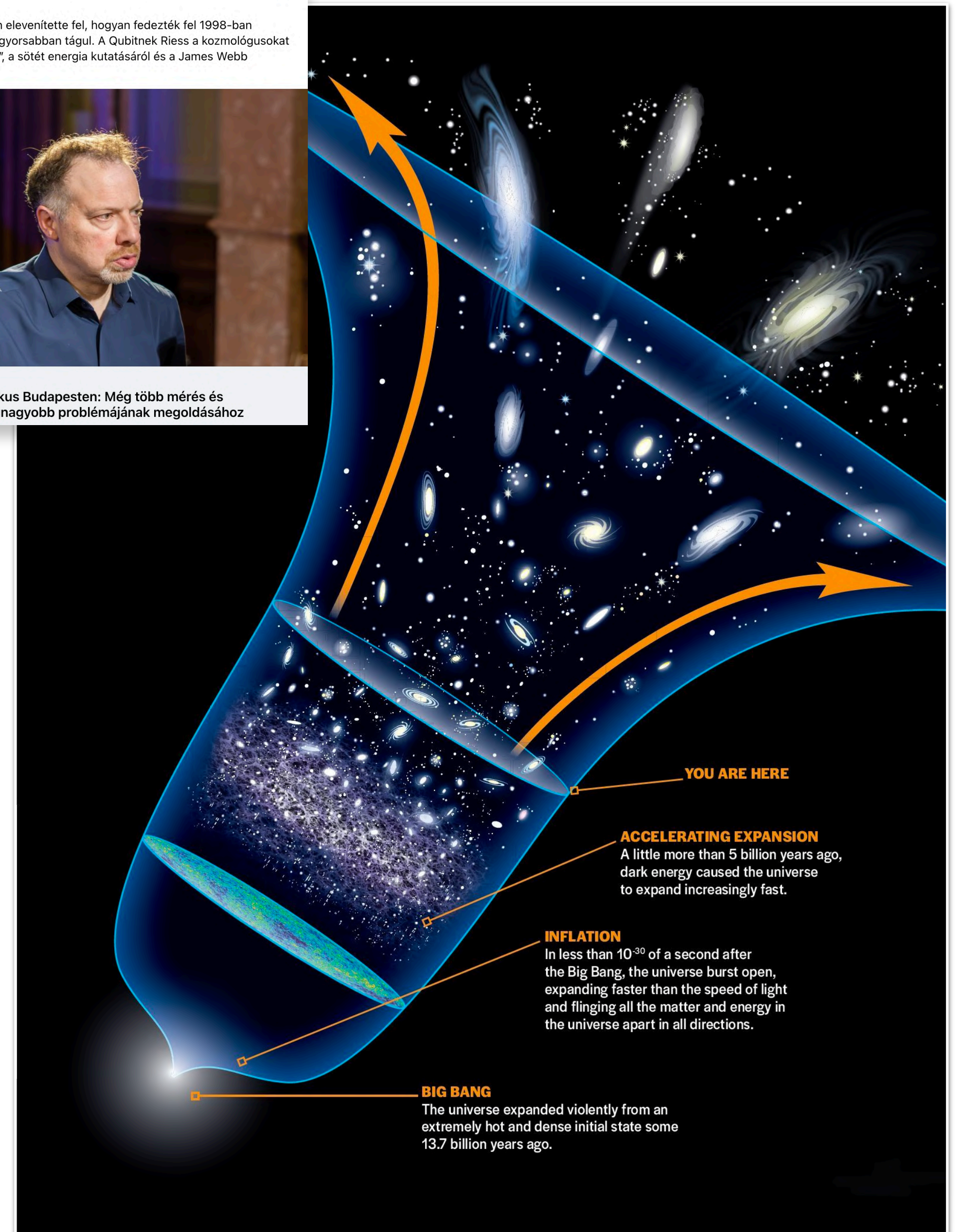


Sötét anyag

- Körülveszi a látható/atomos anyagot *valamilyen* módon
- Kb. **5-10x több** van belőle
- Úgy tűnik, hogy jelen volt már a korai univerzumban is

Sötét energia

- Szupernóvák halványodása utalt rá először 1998 körül (→ Einstein Λ)
- Általános kozmikus taszítóerő, vagy az **üres** tér tulajdonsága?
- Gyorsítva tágítja a mai univerzumot, ami a jövőre nézve is érdekes

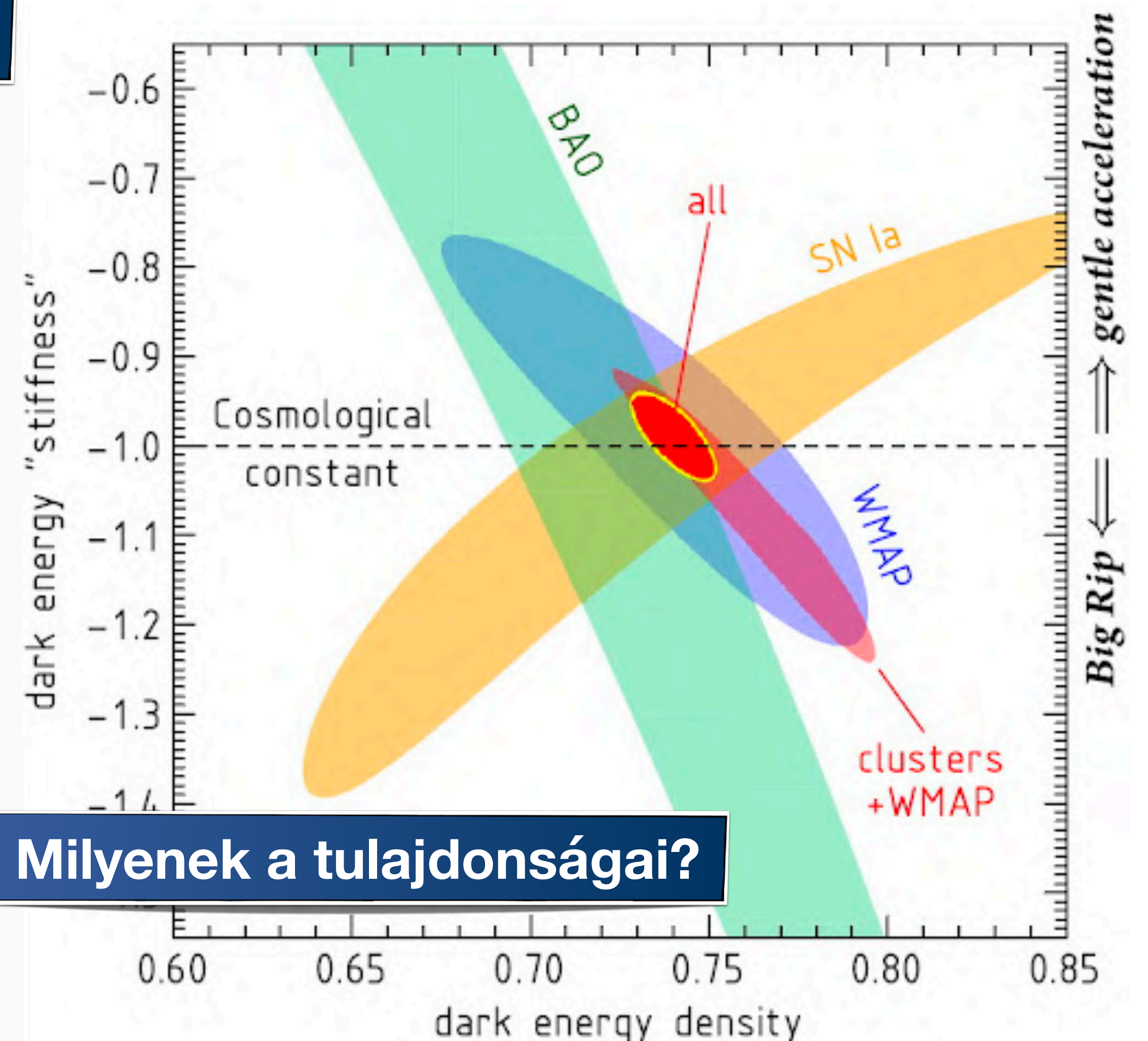
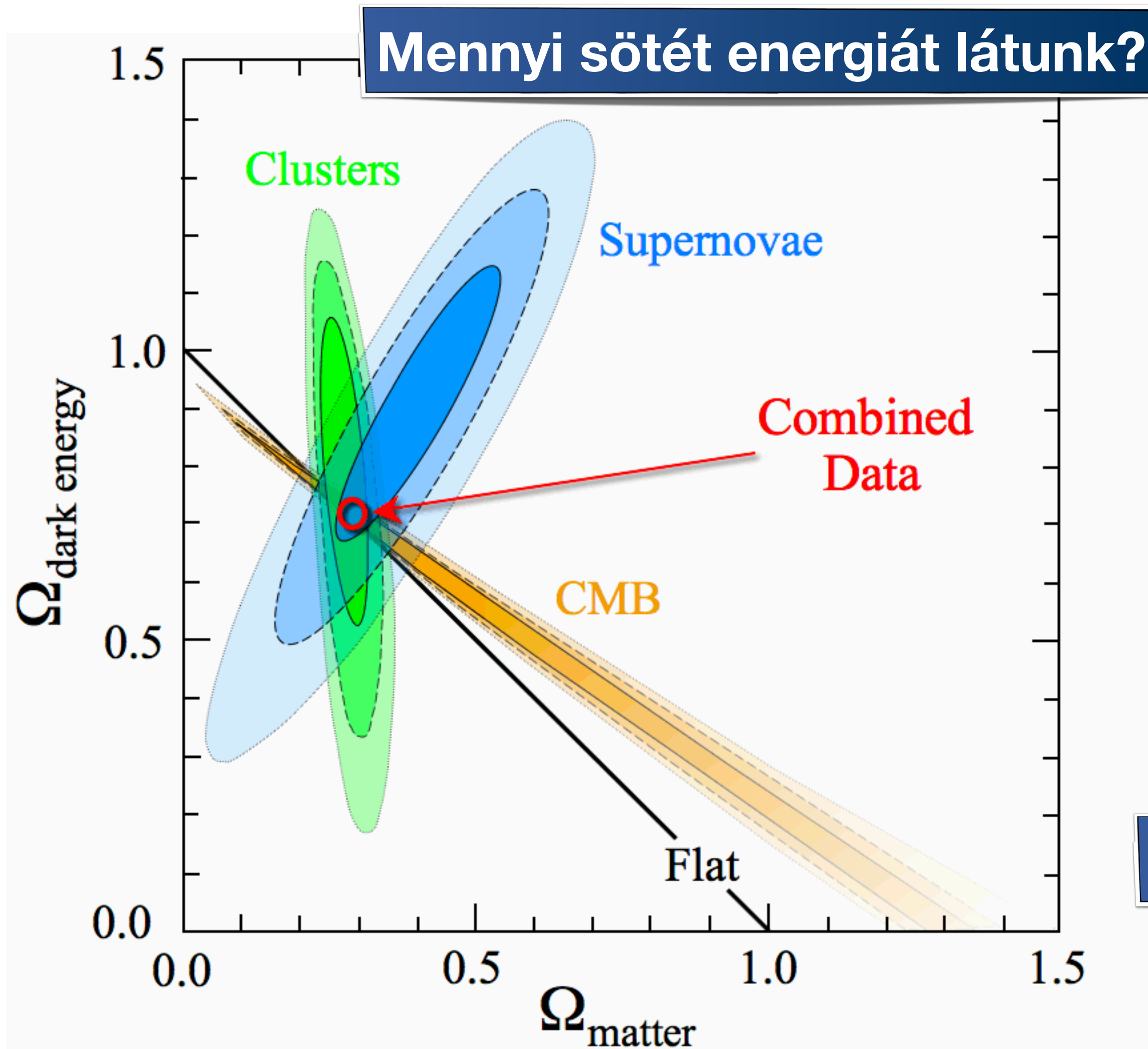


Sötét energia

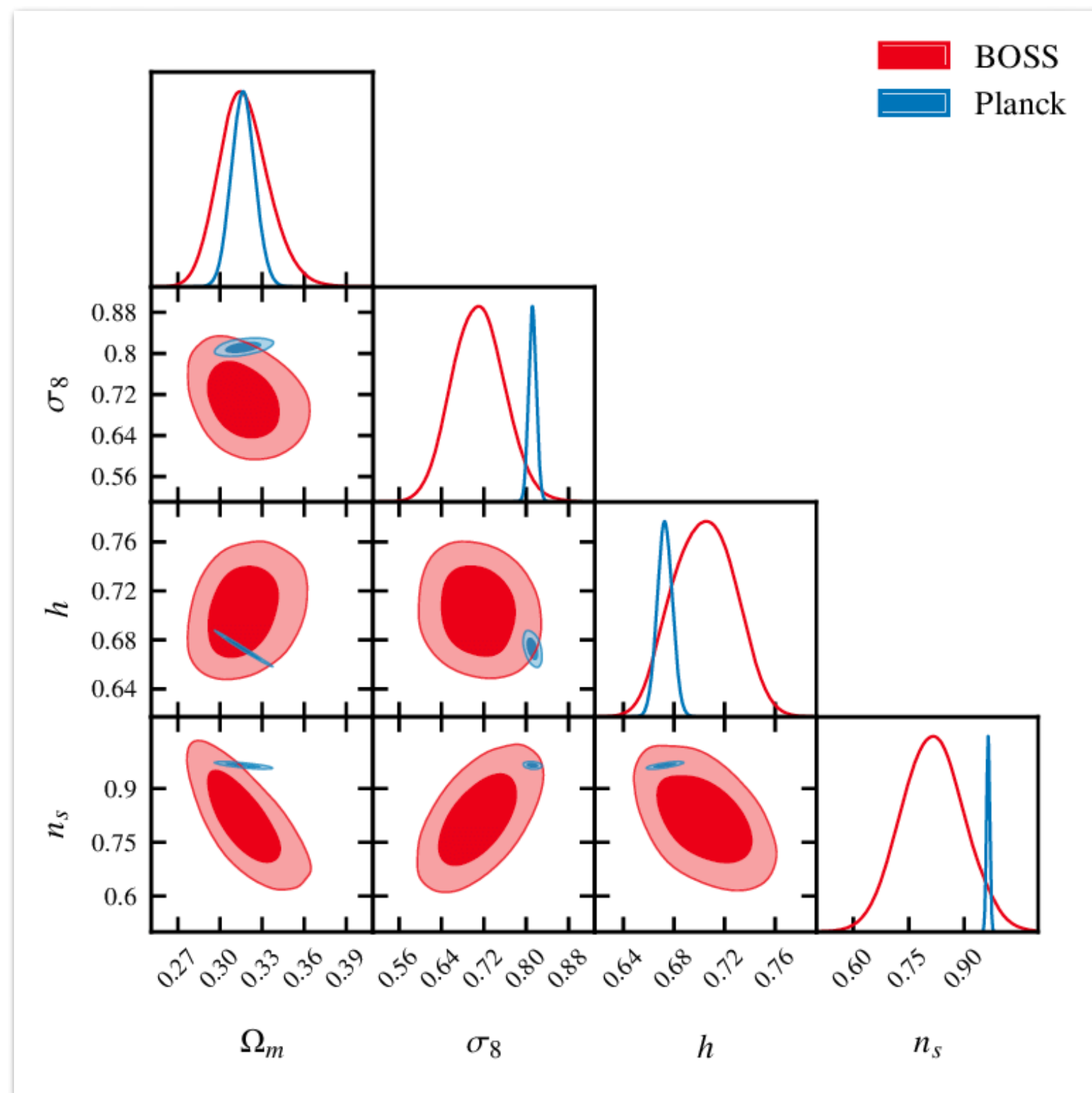
- Szupernóvák halványodása utalt rá először 1998 körül (→ Einstein Λ)
- Általános kozmikus taszítóerő, vagy az **üres** tér tulajdonsága?
- Gyorsítva tágítja a mai univerzumot, ami a jövőre nézve is érdekes



Mire hajtunk? Kozmológiai paraméterek



Mire hajtunk? Kozmológiai paraméterek

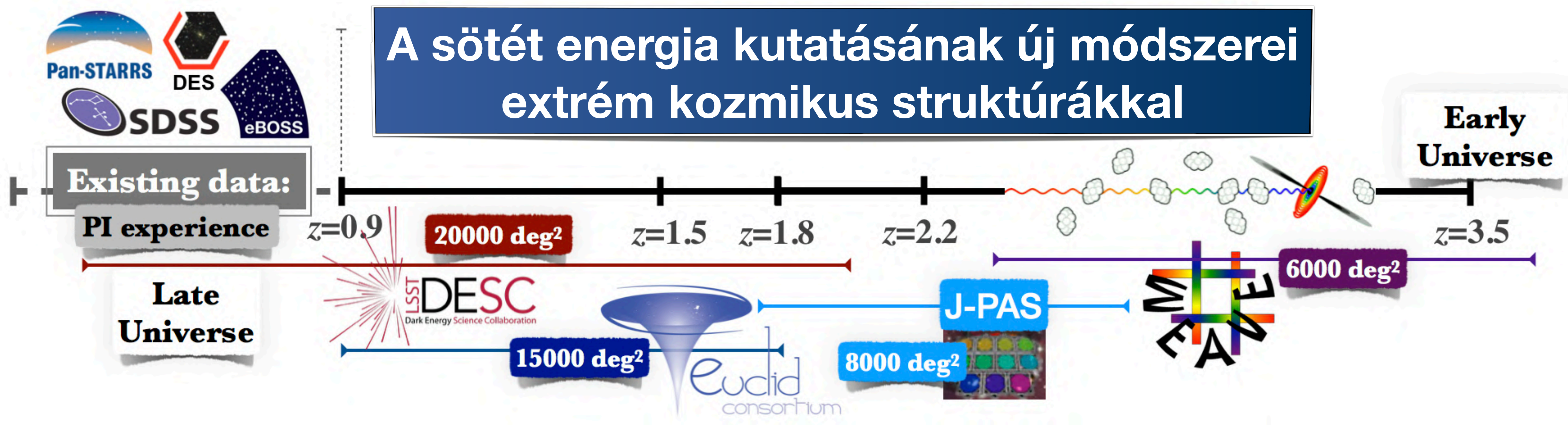


Parameter	TT+lowP+lensing 68% limits	TT,TE,EE+lowP+lensing+ext 68% limits
n_s	0.9677 ± 0.0060	0.9667 ± 0.0040
H_0	67.81 ± 0.92	67.74 ± 0.46
Ω_Λ	0.692 ± 0.012	0.6911 ± 0.0062
Ω_m	0.308 ± 0.012	0.3089 ± 0.0062
$\Omega_b h^2$	0.02226 ± 0.00023	0.02230 ± 0.00014
$\Omega_c h^2$	0.1186 ± 0.0020	0.1188 ± 0.0010
σ_8	0.8149 ± 0.0093	0.8159 ± 0.0086
z_{re}	$8.8^{+1.7}_{-1.4}$	$8.8^{+1.2}_{-1.1}$
Age/Gyr	13.799 ± 0.038	13.799 ± 0.021

Milyen adatok alapján számolunk?

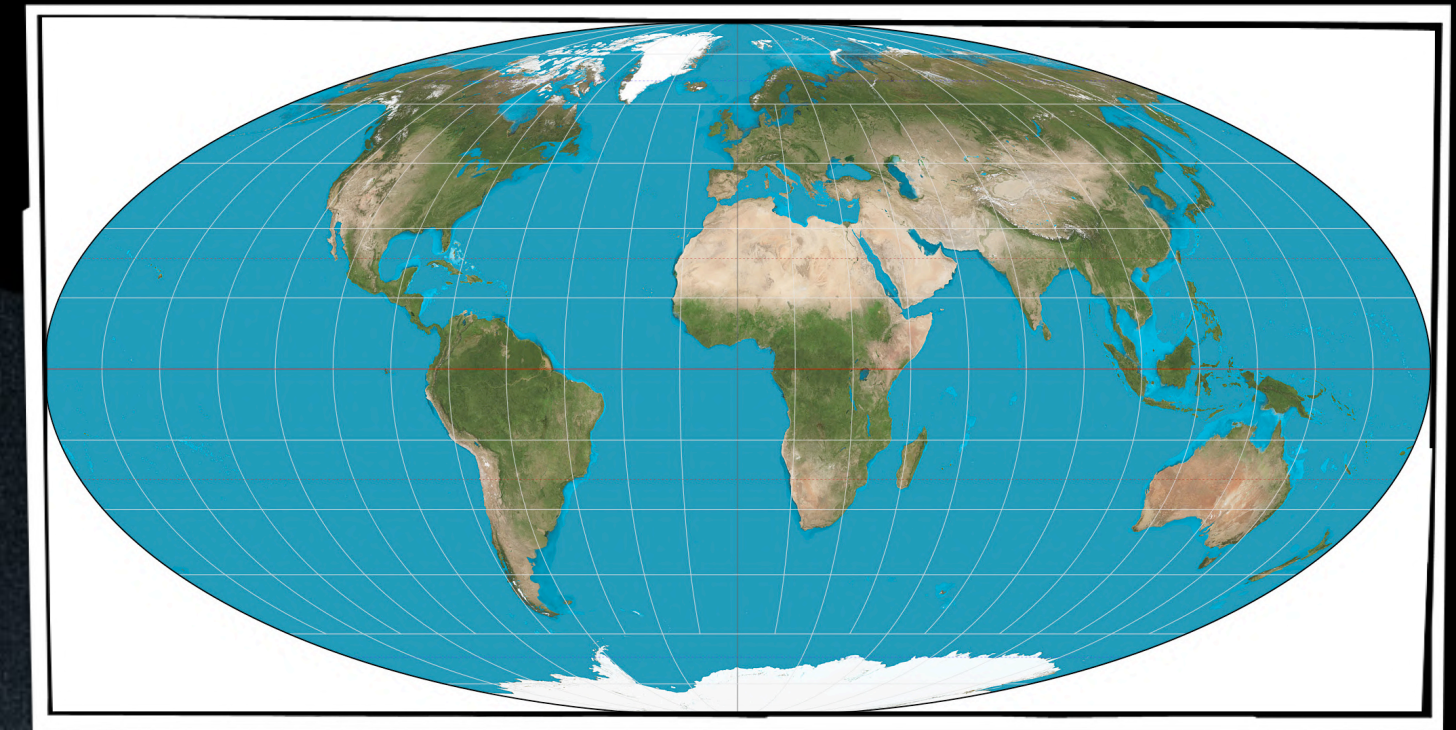
Térképezés kozmikus skálákon Budapesten

A sötét energia kutatásának új módszerei extrém kozmikus struktúrákkal



Égbolt-térképezés, megfigyelések

Chile, Hawaii, Kanári-szigetek, műholdak, stb.

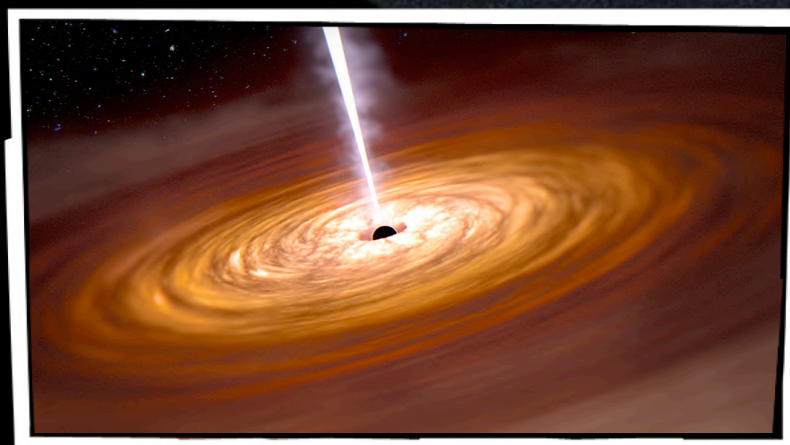


Tejútrendszer síkja

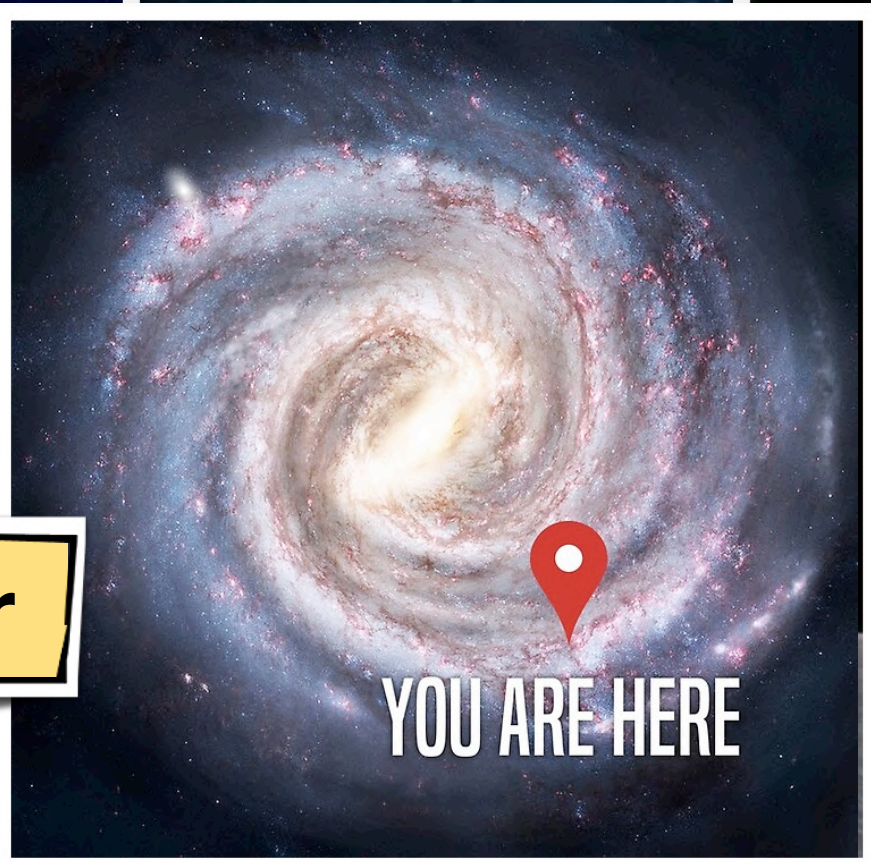
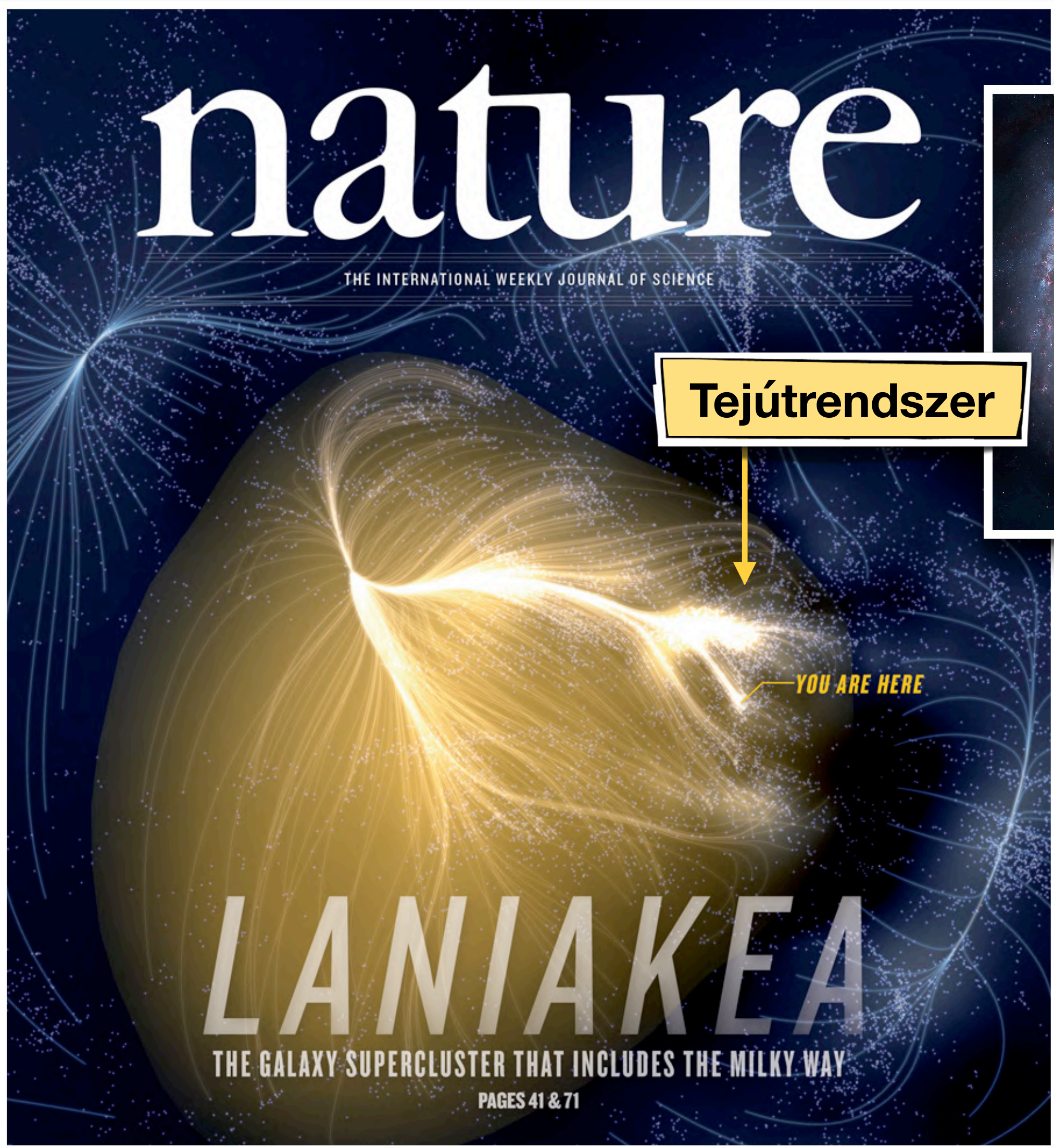
Csillag

Kvazár

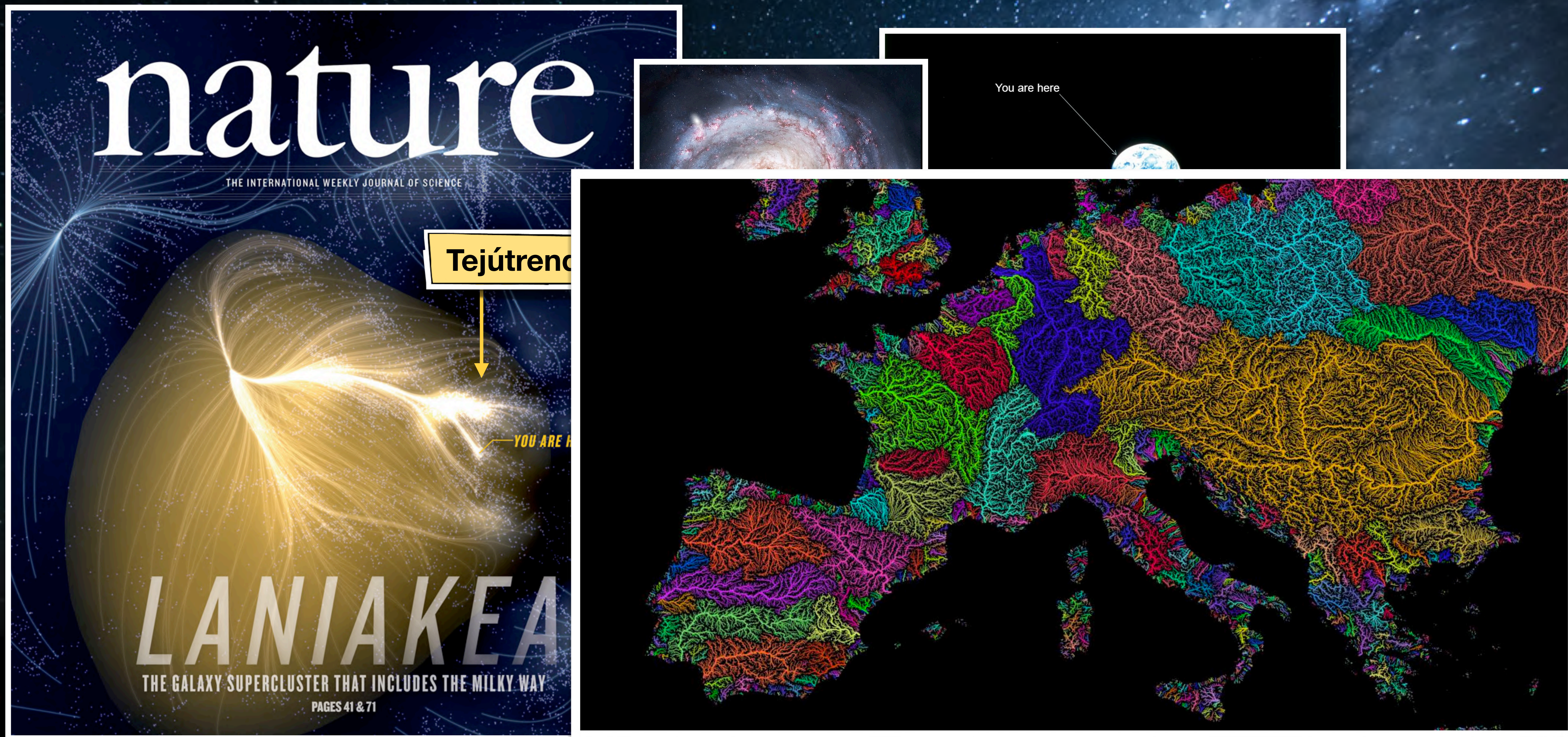
Magellán felhők



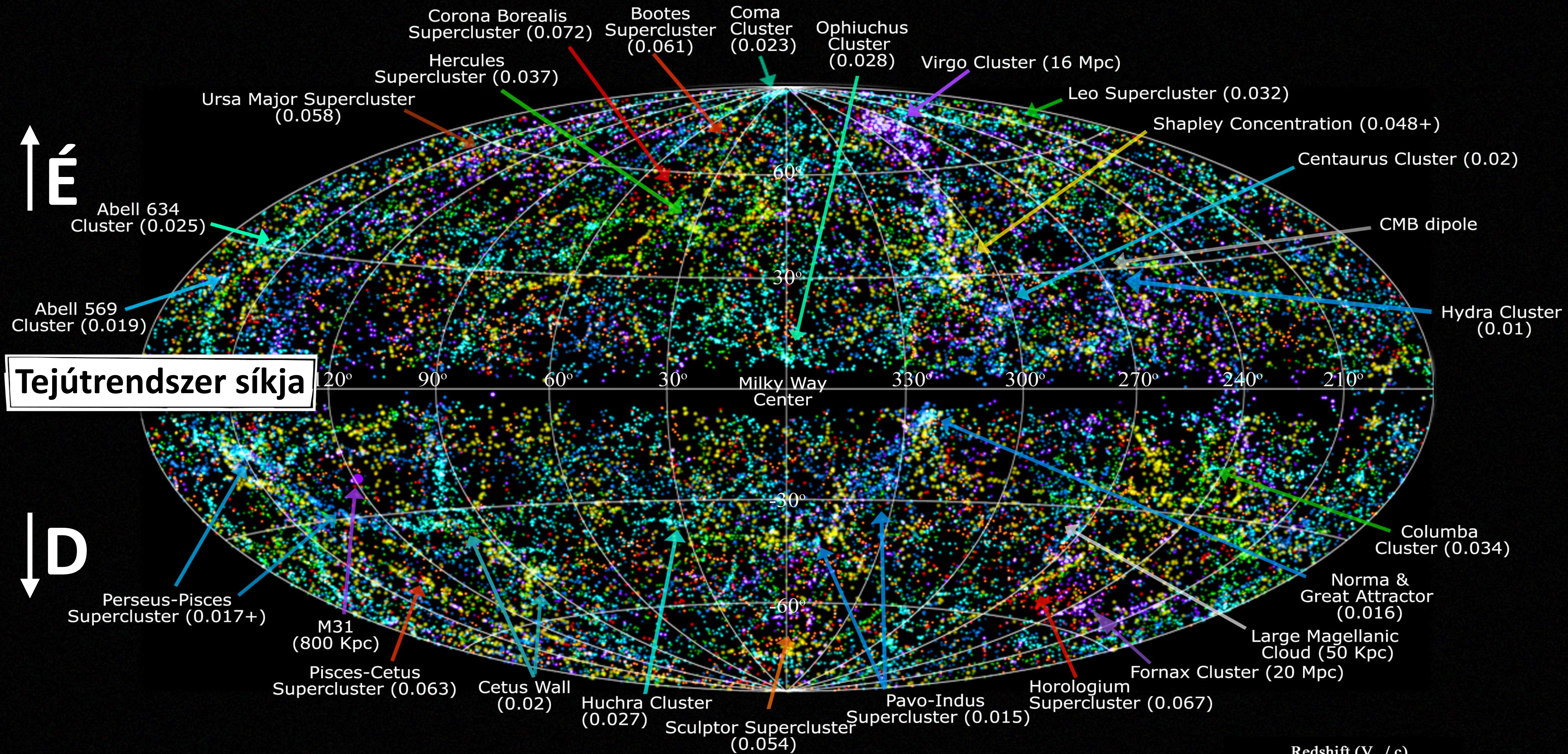
Az Univerzum nagyskálás szerkezete



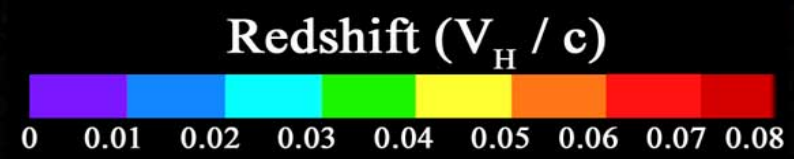
Az Univerzum nagyskálás szerkezete



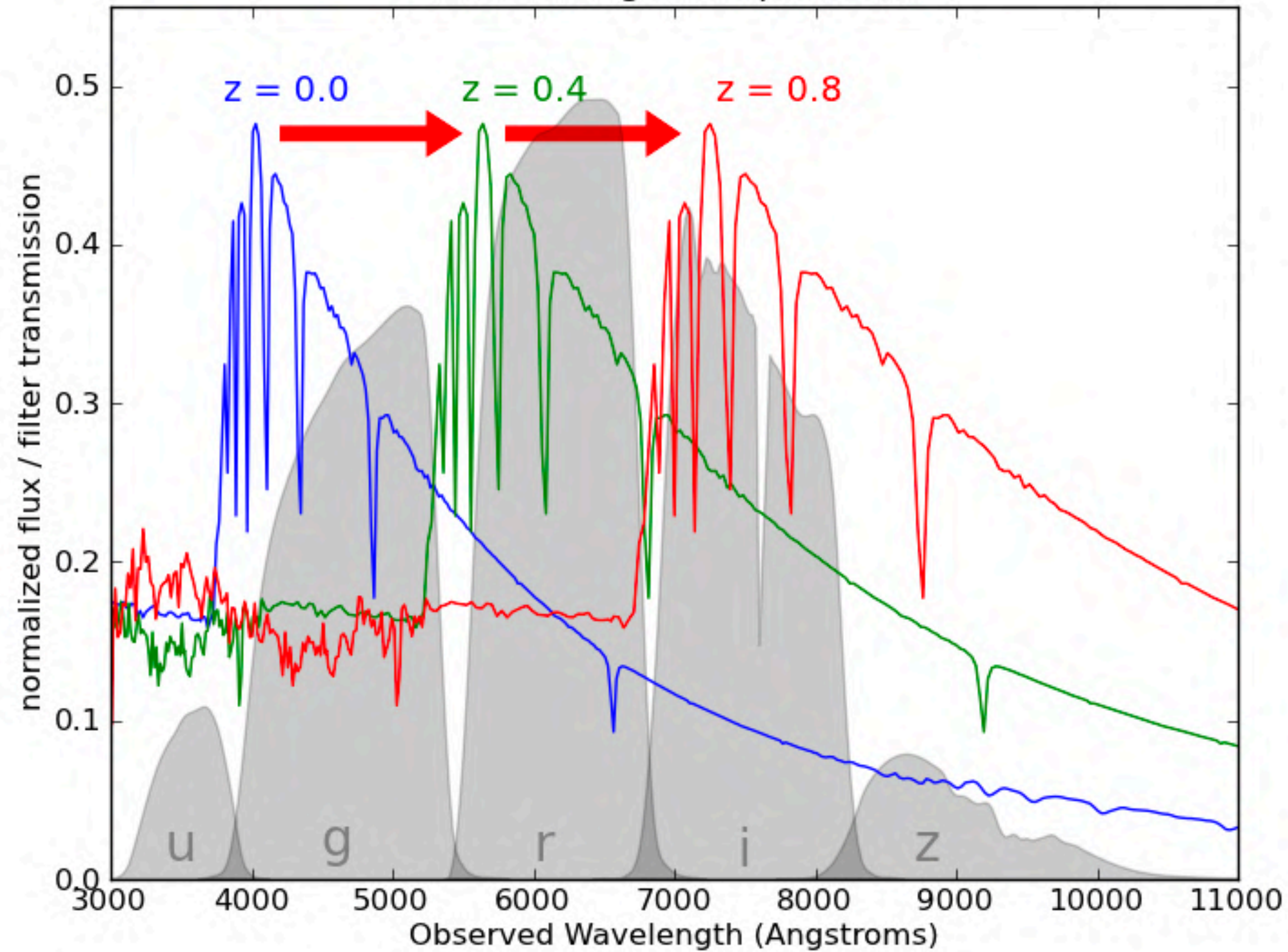
2MASS Redshift Survey



Legend: image shows 2MASS galaxies color coded by the 2MRS redshift (Huchra et al 2011); familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent redshift).



Redshifting of a Spectrum

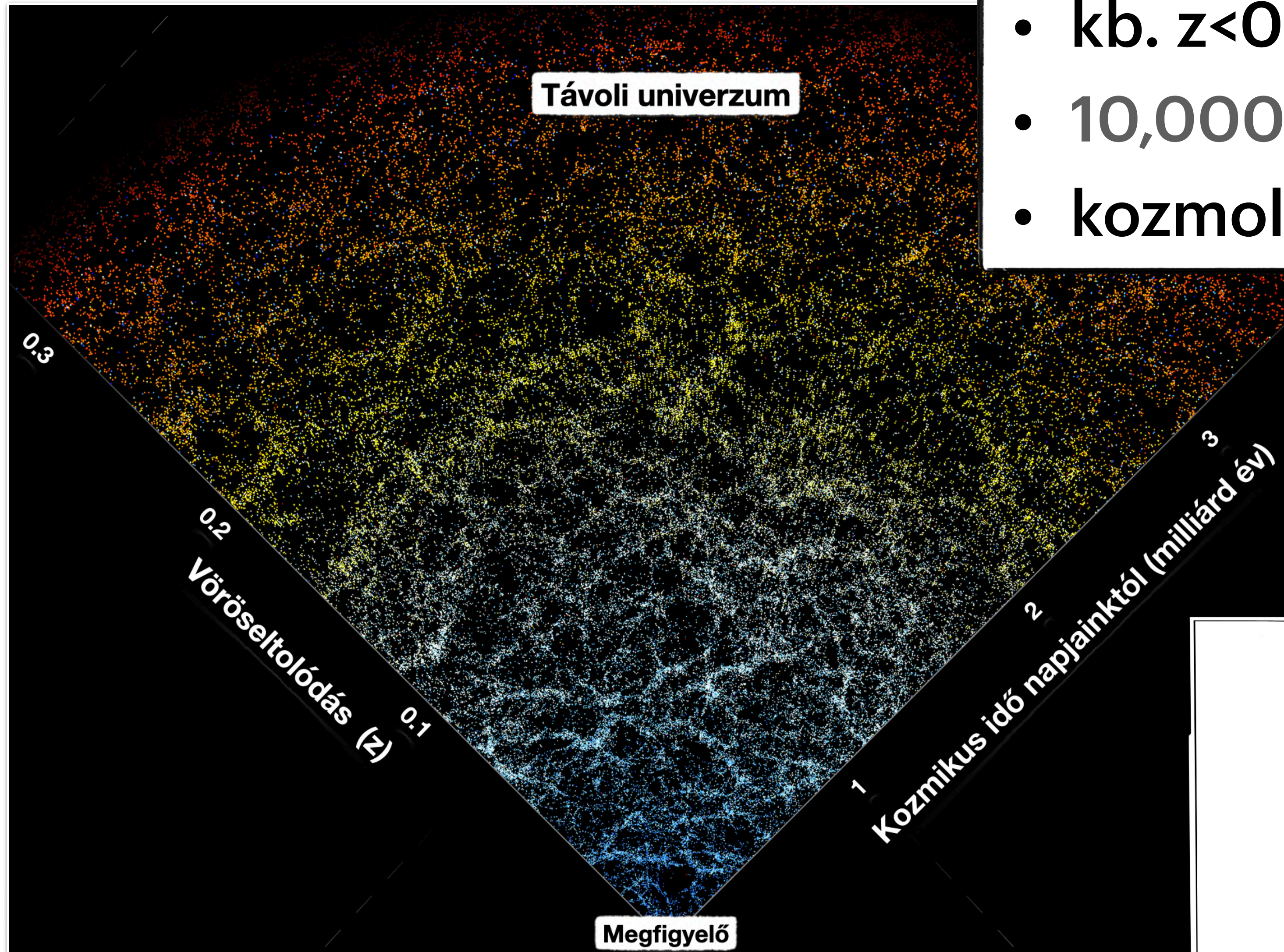


Technikai pont: galaxis spektrumok

- Fotometrikus felmérések
- Spektroszkópiai felmérések
- Hibrid felmérések

Sloan Digital Sky Survey (SDSS):

- kb. $z < 0.8$ vöröseltolódás
- 10,000 négyzetfok terület
- kozmológiai paraméterek



Fontos korábbi felmérések

CfA survey

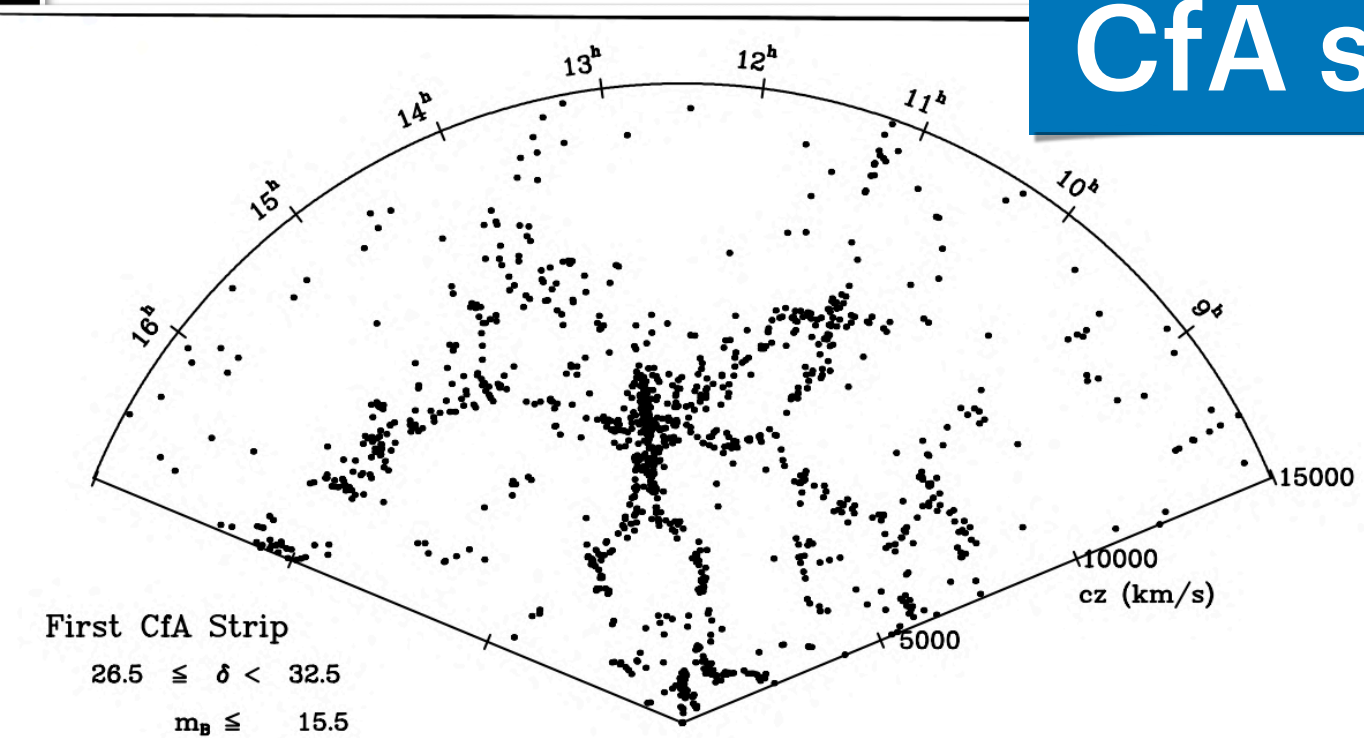
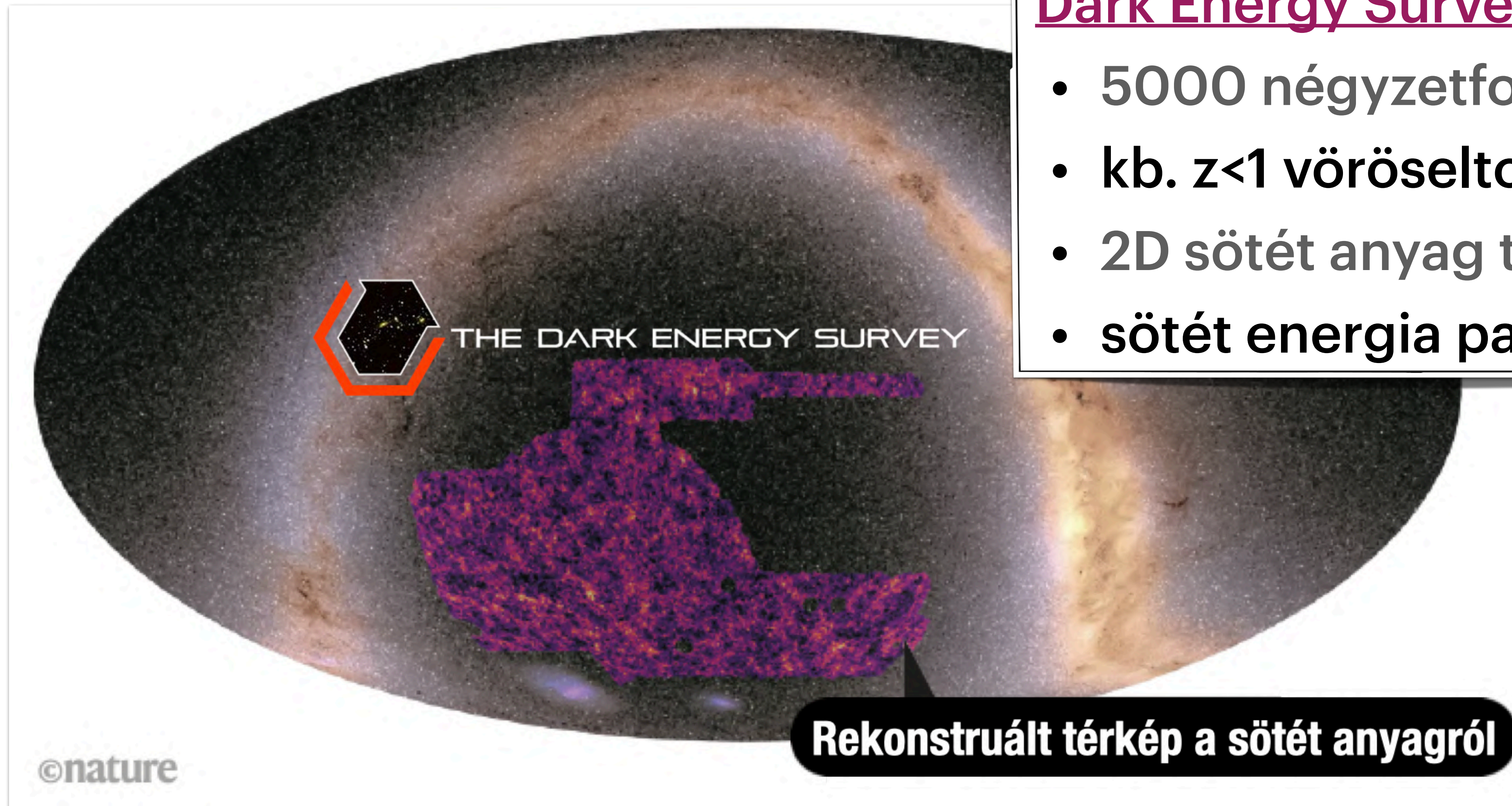


Figure 1.4: The second CfA survey. Image credit: The Smithsonian Astrophysical Observatory (de Lapparent et al., 1986).

Friss felmérések

Dark Energy Survey (DES):

- 5000 négyzetfok terület
- kb. $z < 1$ vöröseltolódás
- 2D sötét anyag térkép
- sötét energia paraméterek

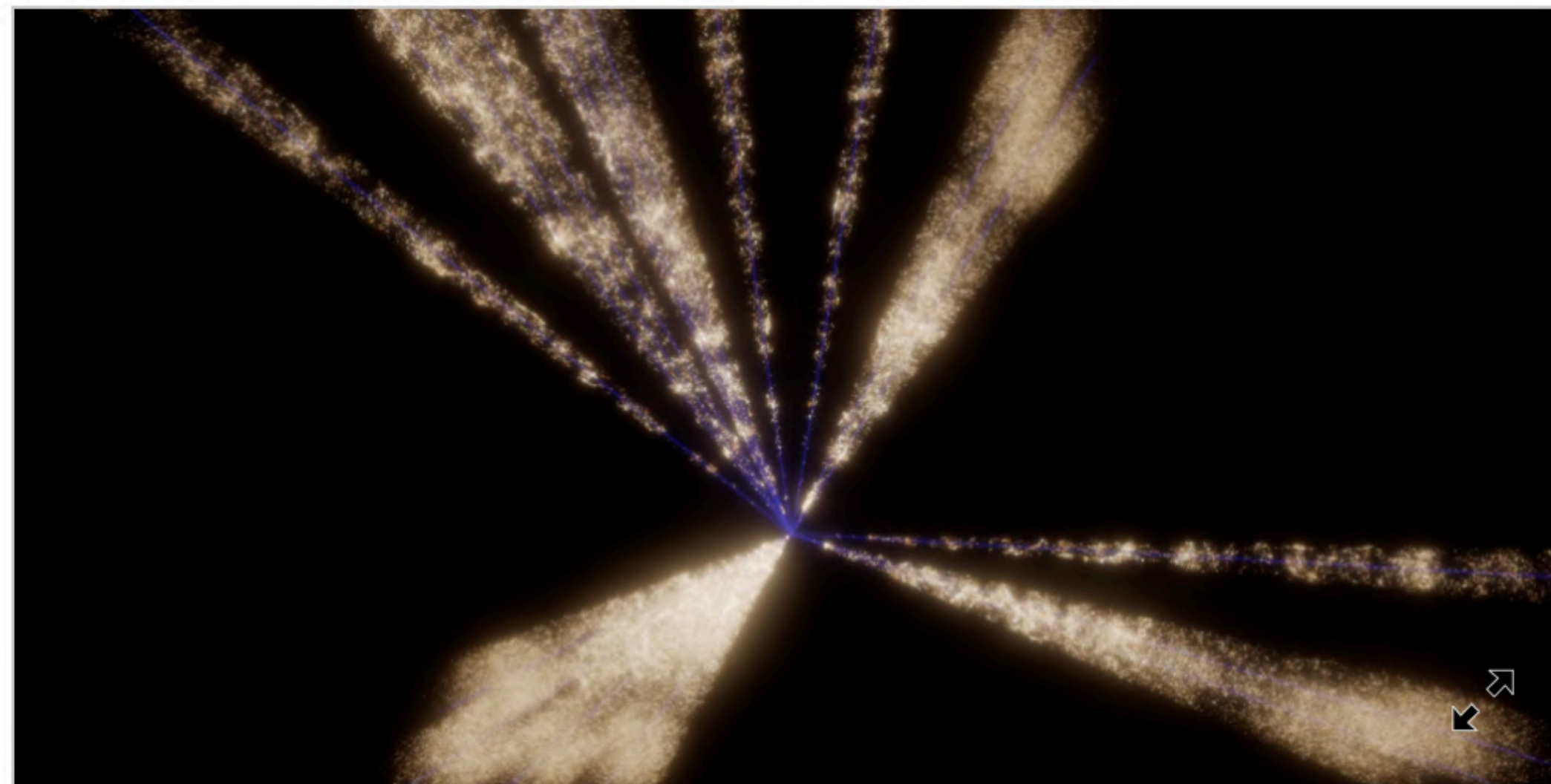


Dark Energy Spectroscopy Instrument Releases First Data

June 16, 2023 • *Physics* 16, 106

The first data collected by the Dark Energy Spectroscopy Instrument contain close to 2 million objects, including a roughly 12-billion-year-old quasar. The collaboration expects to report their first cosmology-related results within a year.

Friss felmérések



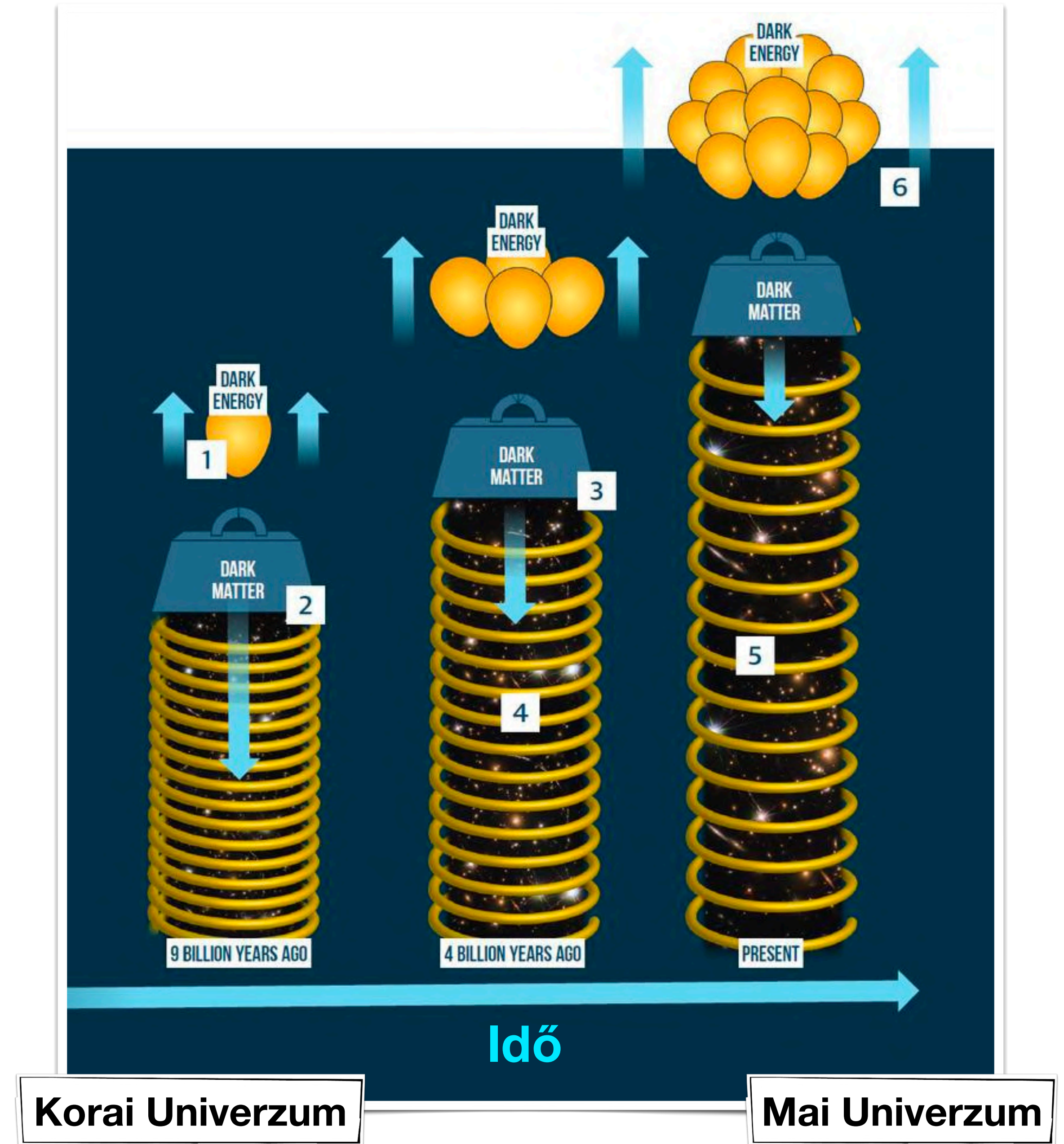
DESI Collaboration

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI):

- 14000 négyzetfok terület
- $z < 2$ vöröseltolódás
- 30 millió galaxis és kvazár
- sötét energia paraméterek

Miért kell a Euclid?

- Nem ismerjük a sötét komponensek fizikáját
- Nem tudjuk hogyan vált a sötét energia az univerzumot **domináns** tényezővé

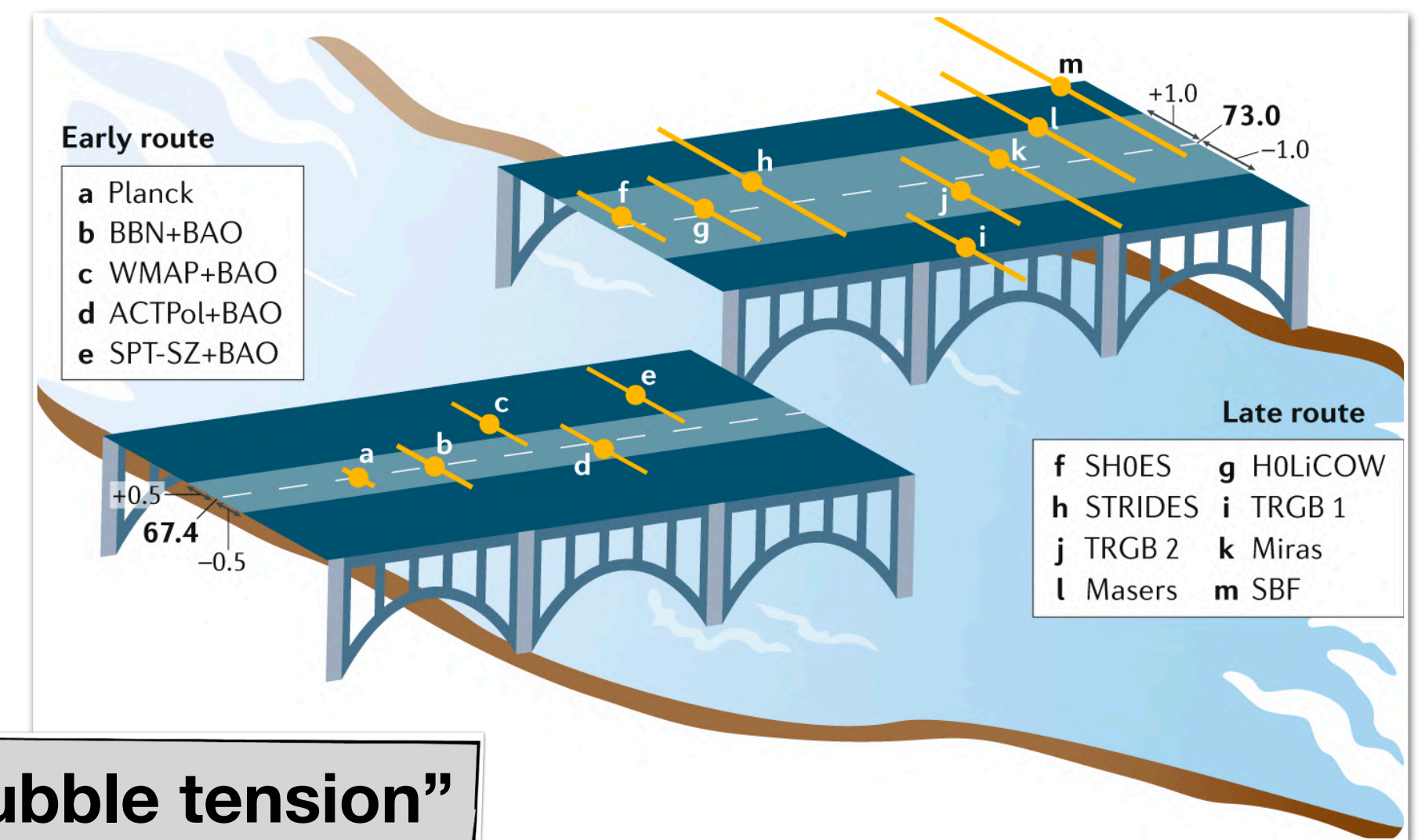
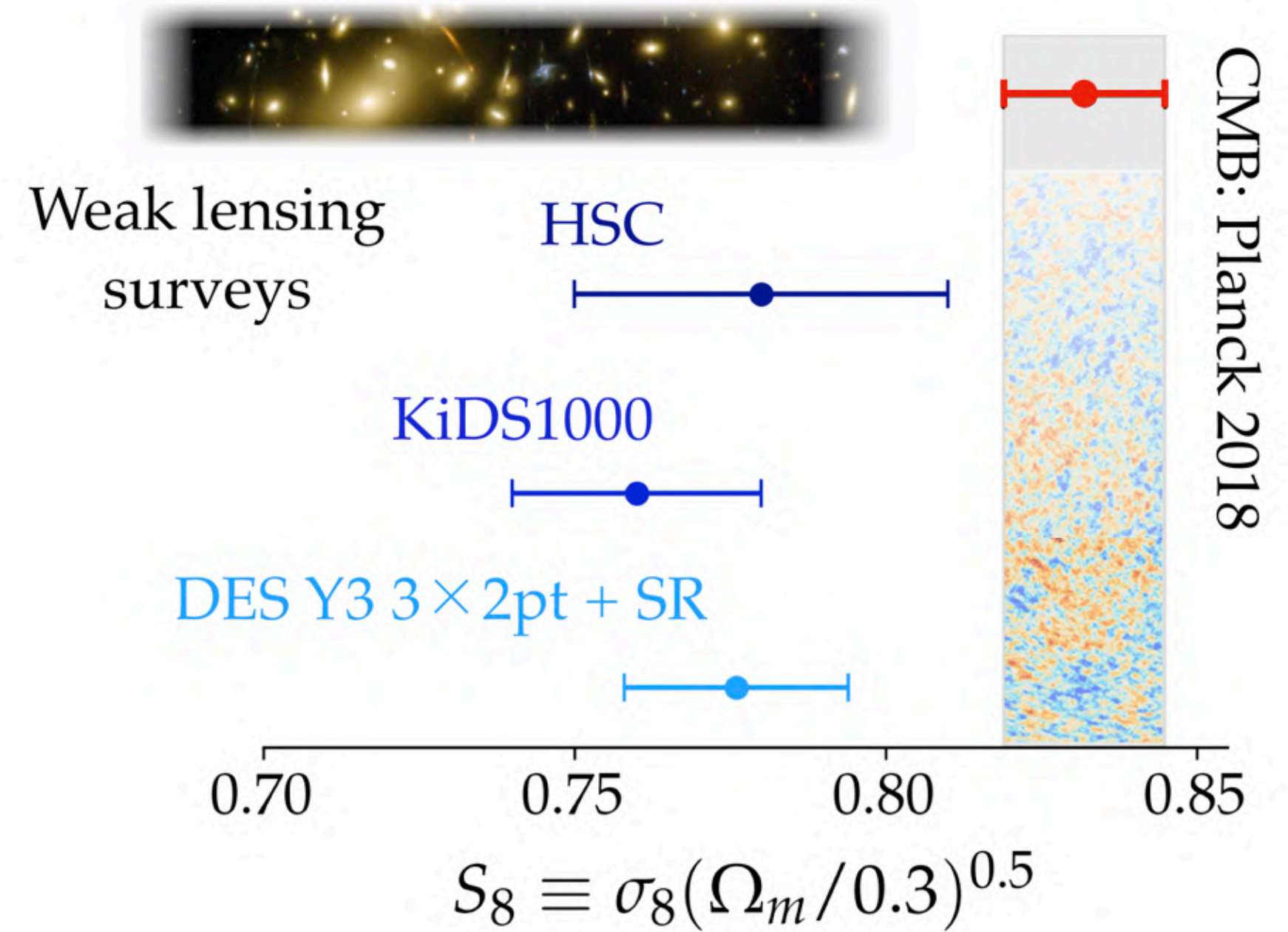


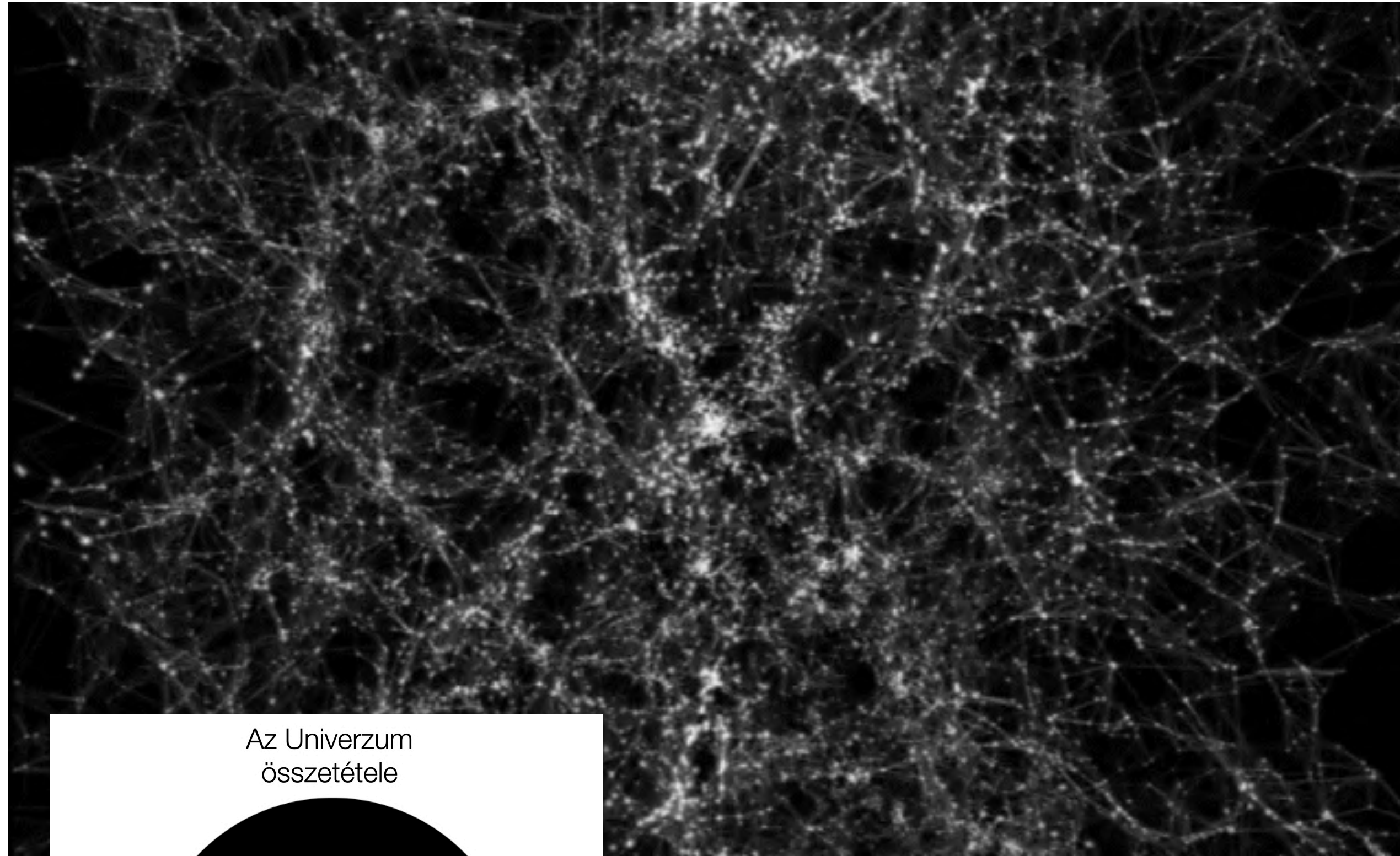
+1: anomáliák vannak a már meglévő adatokban

Miért kell a Euclid?

- Nem ismerjük a sötét komponensek fizikáját
- Nem tudjuk hogyan vált a sötét energia az univerzumot **domináns** tényezővé

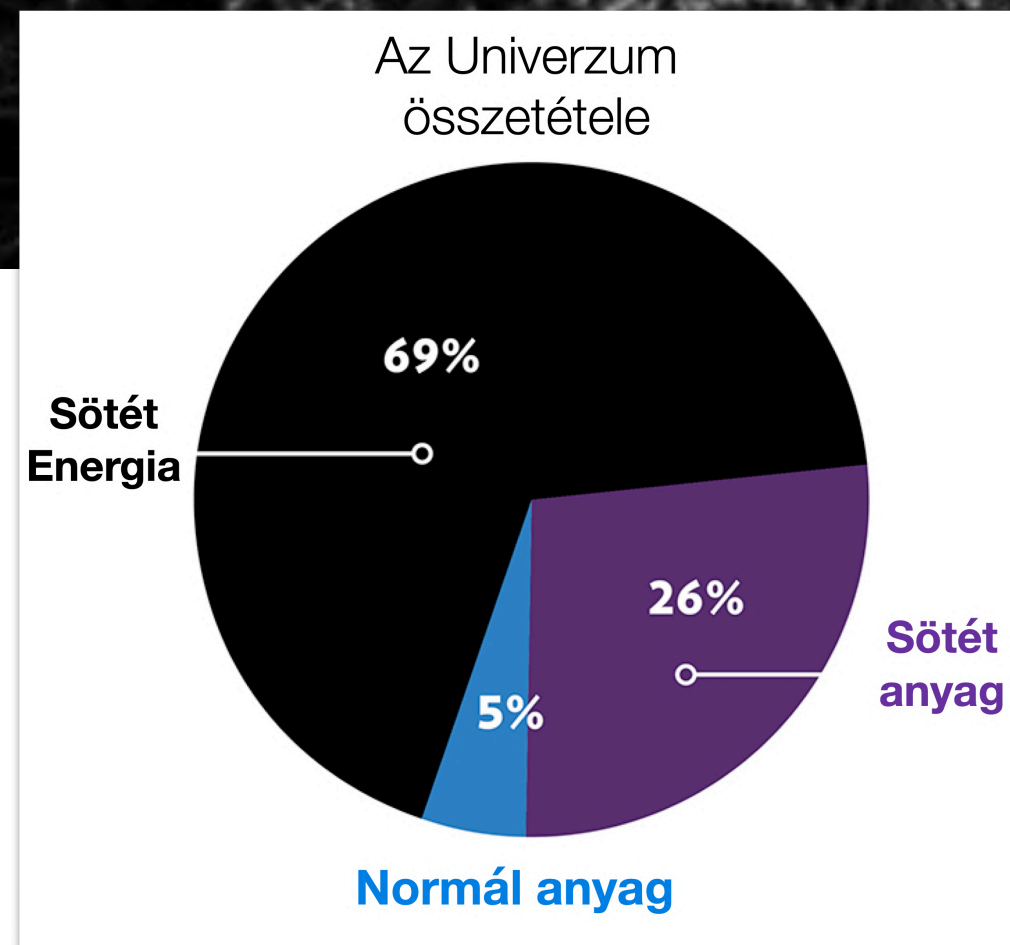
S₈: az anyag csomósodási paramétere





Mit csinálunk mi?

- A sötét energiát érdemes a kevésbé sűrű részeknél is keresni (zavaró tényezők hiányában)
- **Void**: alacsony sűrűségű régió
- Fontosak legnagyobb halmazok is: volt elég *idejük* kialakulni?
- **Szuperklaszter**: sűrű régió



Miért érdekesek?

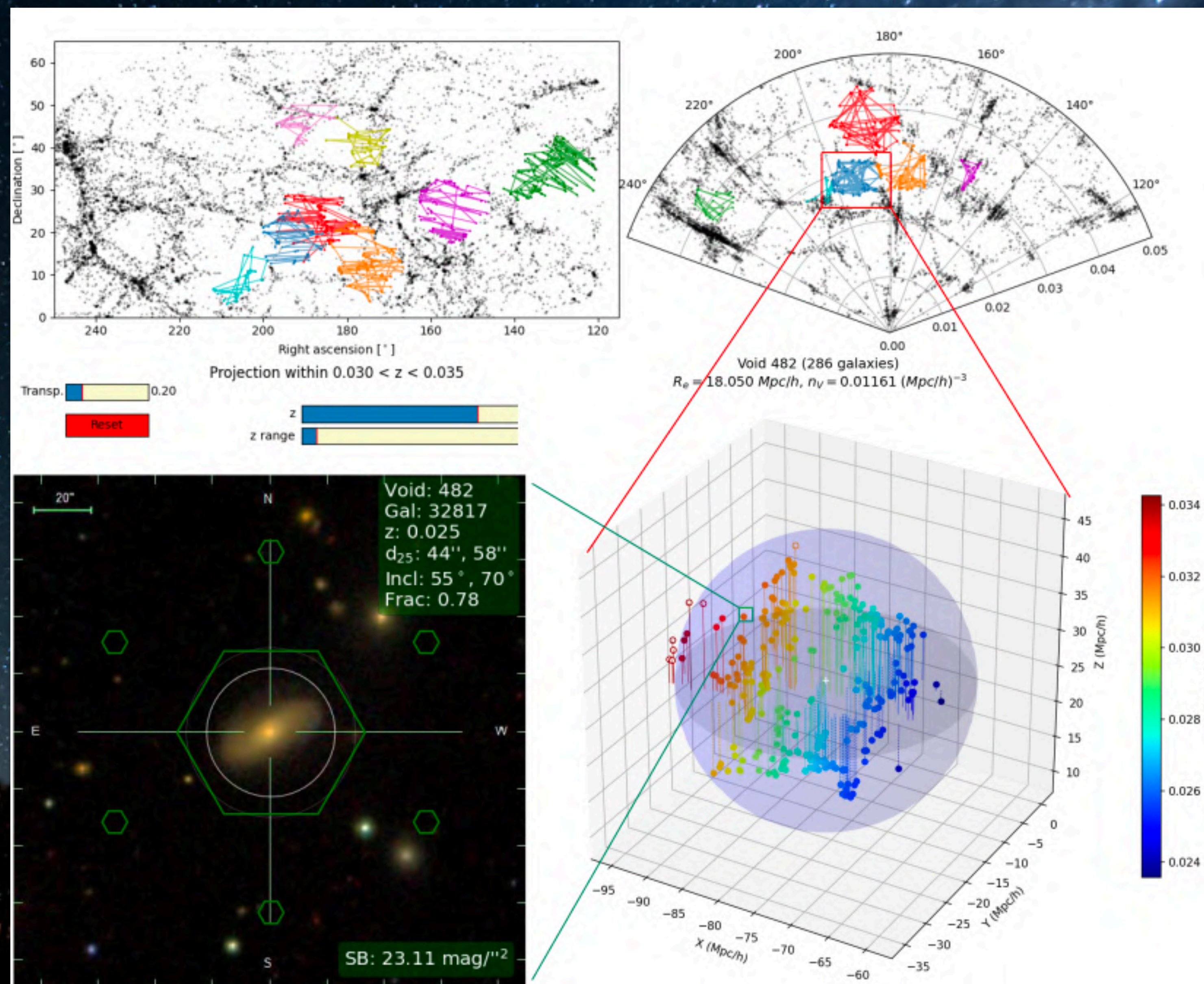
- Alakjuk és számuk is érzékeny a kozmológiai paraméterekre
- Kevesebb probléma a modellezés kapcsán
- Új terület, a galaxis asztrofizika is érdekes lehet a voidokban



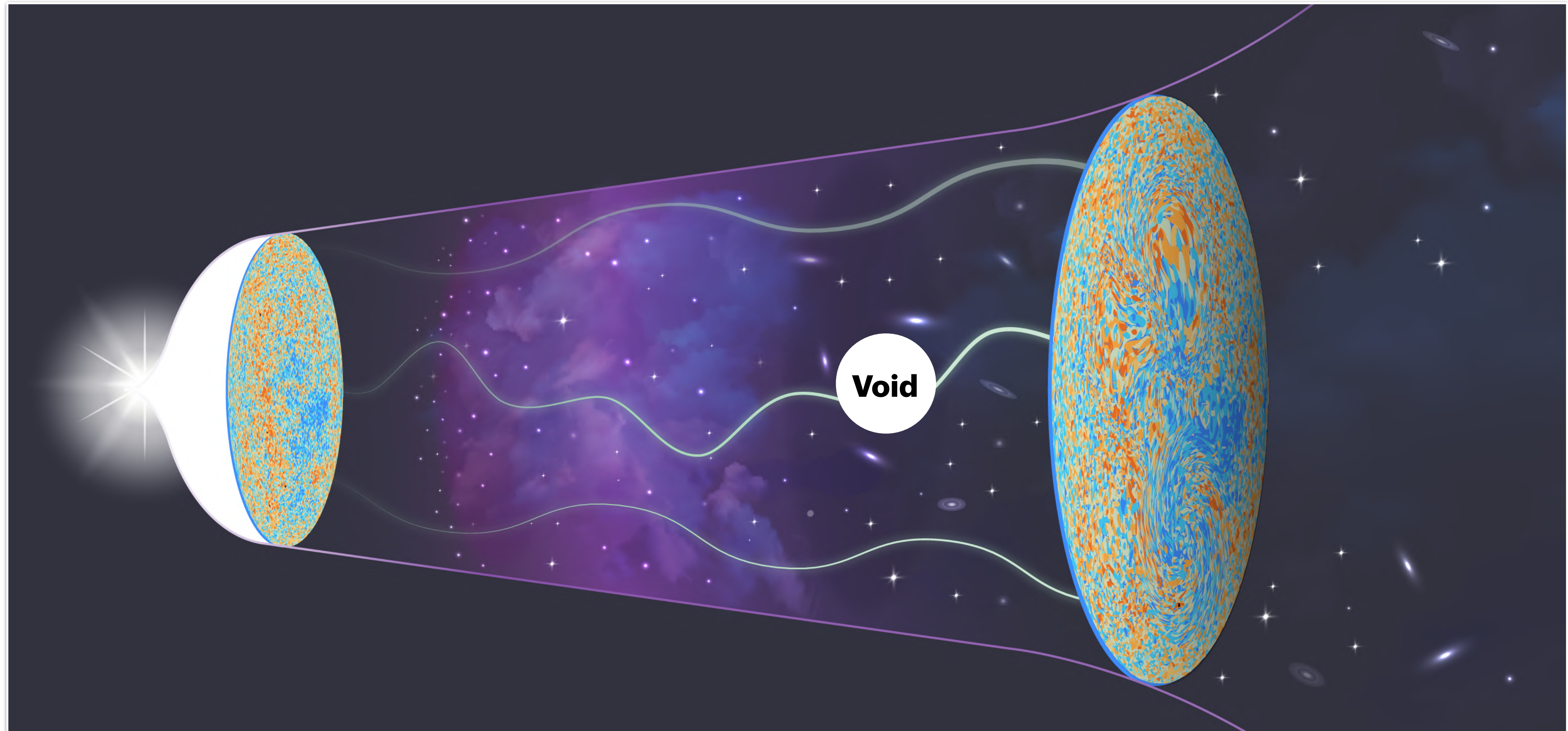
CAVITY project



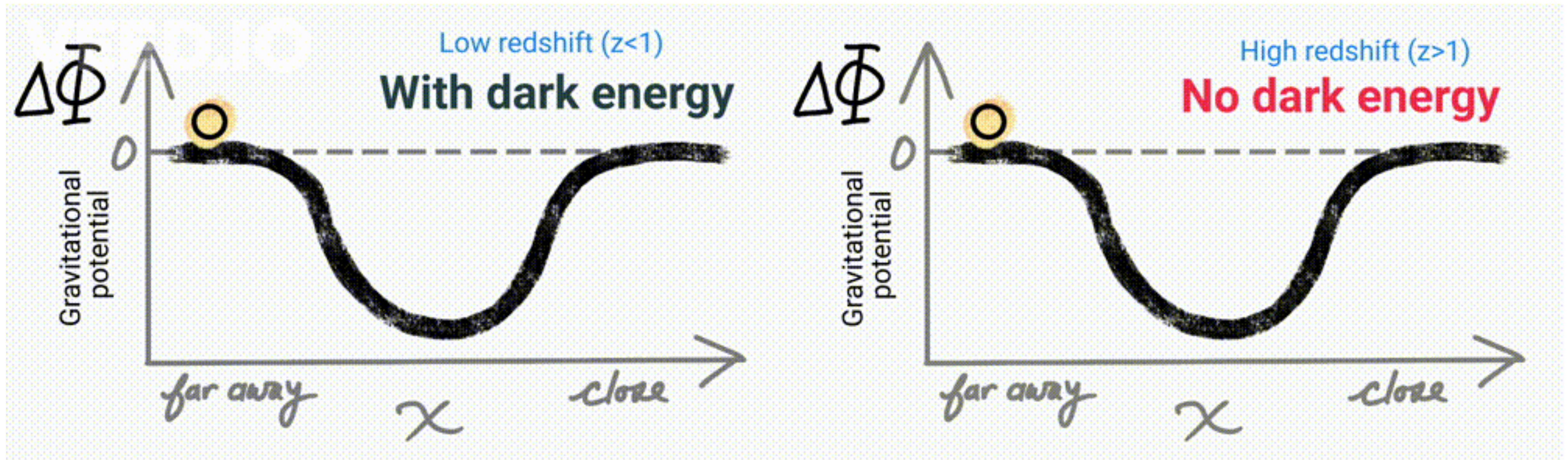
Calar Alto Void
Integral-field
Treasury survey



A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra



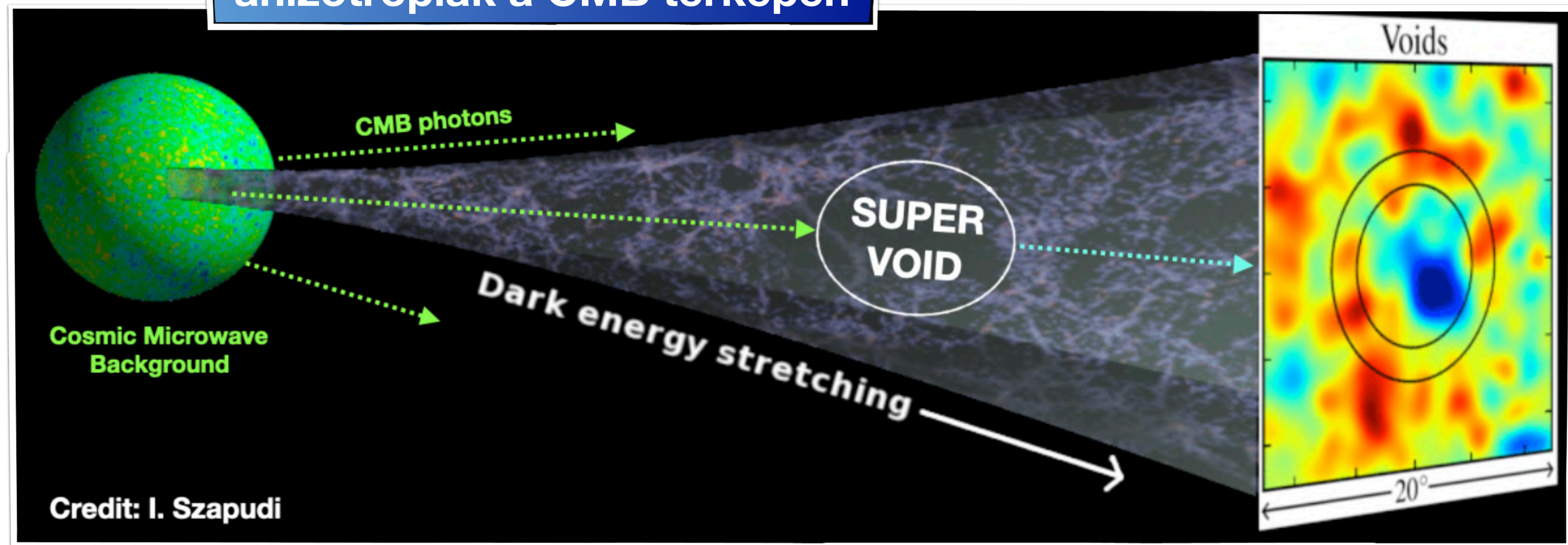
A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra



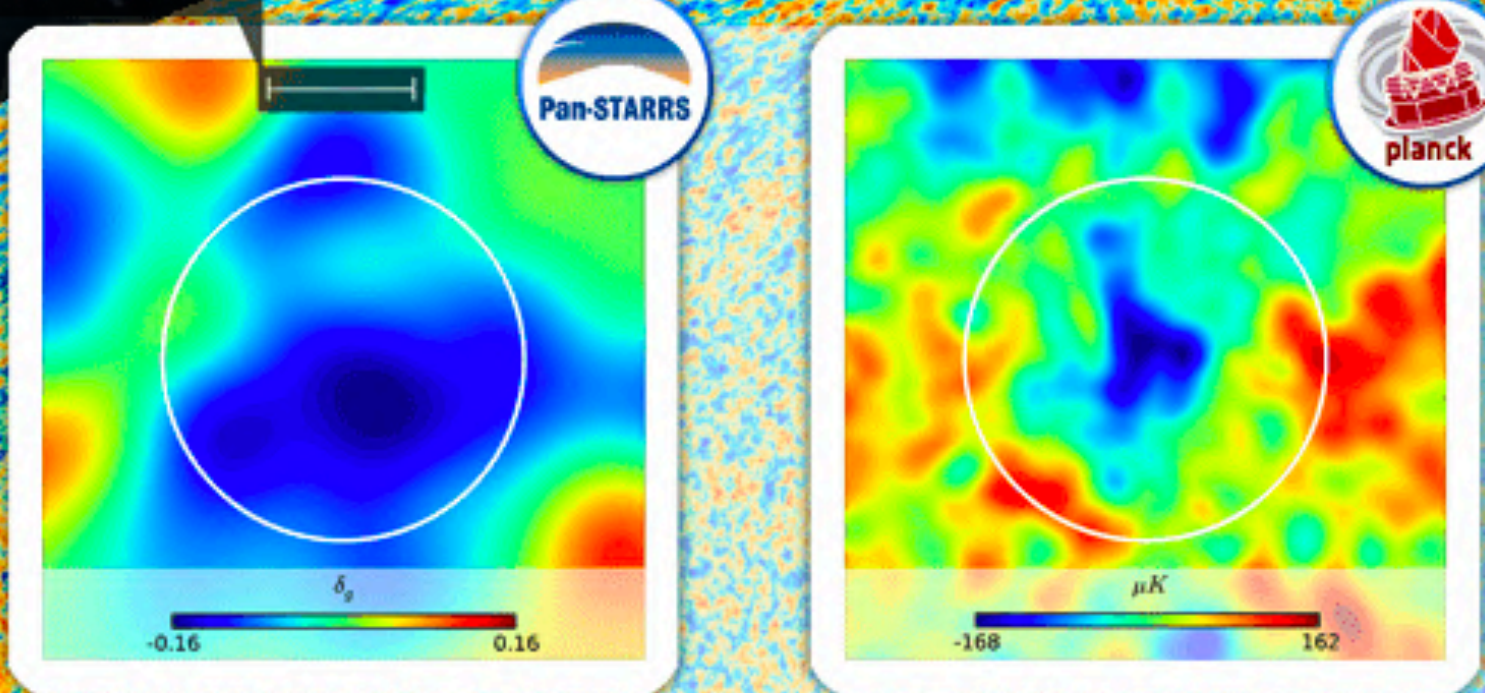
Credit: Jessie Muir

A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra

Hideg foltok: másodlagos anizotrópiák a CMB térképen



1 BILLION LIGHT-YEARS



Credit:
Gergő Kránicz

ANDROMEDA

MOON



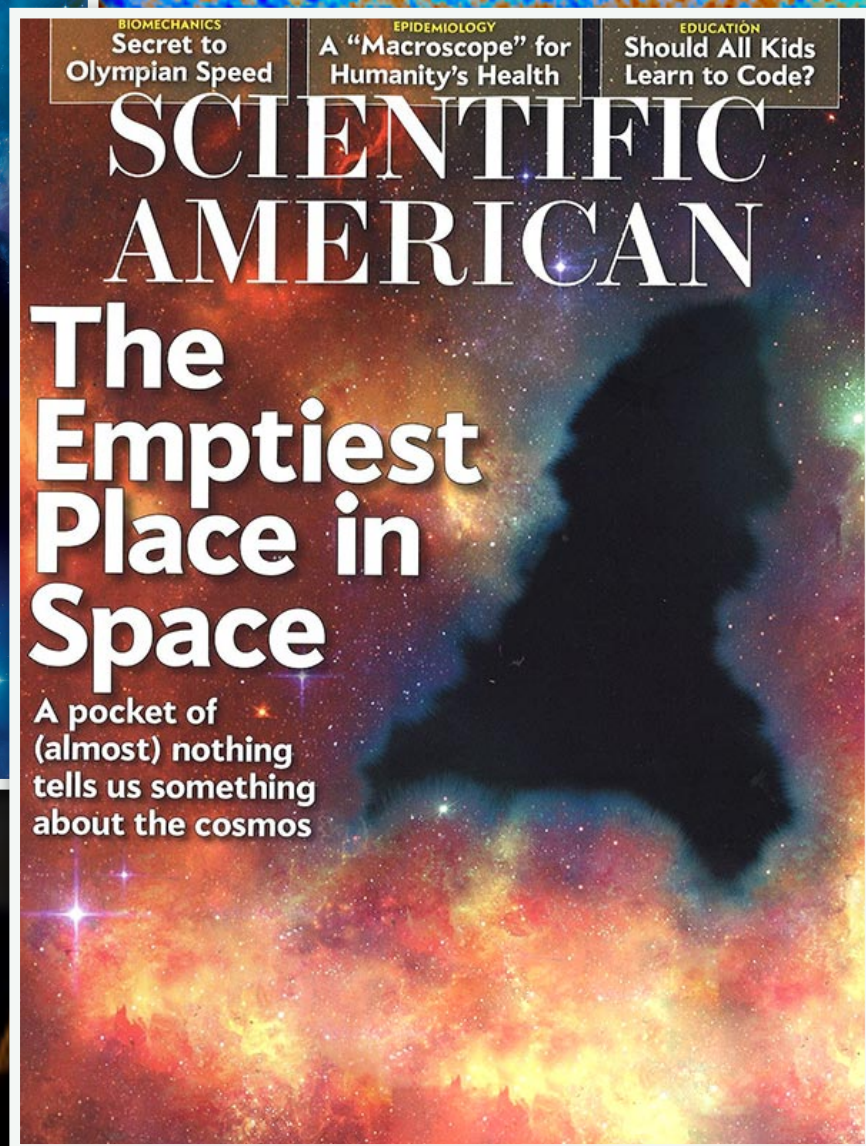
ELTE EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM

AZ ELTE-RŐL HÍREK OKTATÁS KUTATÁS EGYETEMI ÉLET DIGITÁLIS ÜGYMENET

FŐOLDAL > HIDEG FOLTOK A VILÁGEGYETEM TÉRKÉPÉN

HIDEG FOLTOK A VILÁGEGYETEM TÉRKÉPÉN

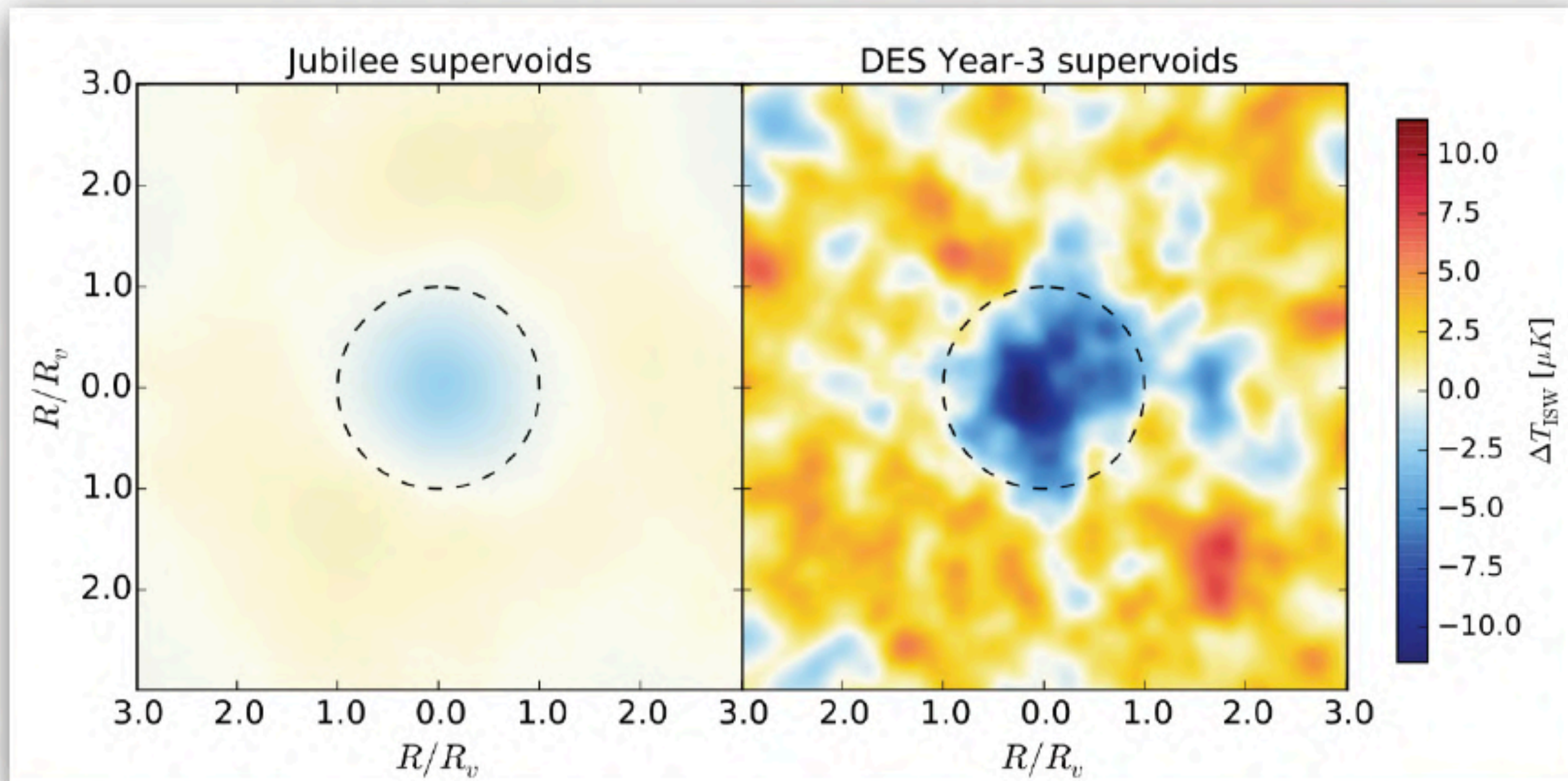
2004-ben a csillagászok a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásban a vártnál jóval hidegebb területet fedeztek fel, melynek létezésére egészen mostanáig nem tudtak kielégítő magyarázatot adni. A Frei Zsolt egyetemi tanár vezetésével működő MTA-ELTE EIRSA Lendület Asztrofizikai Kutatócsoport új elméletét a világ egyik legrangosabb asztrofizikai folyóirata, a *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* áprilisi számában közzölték.



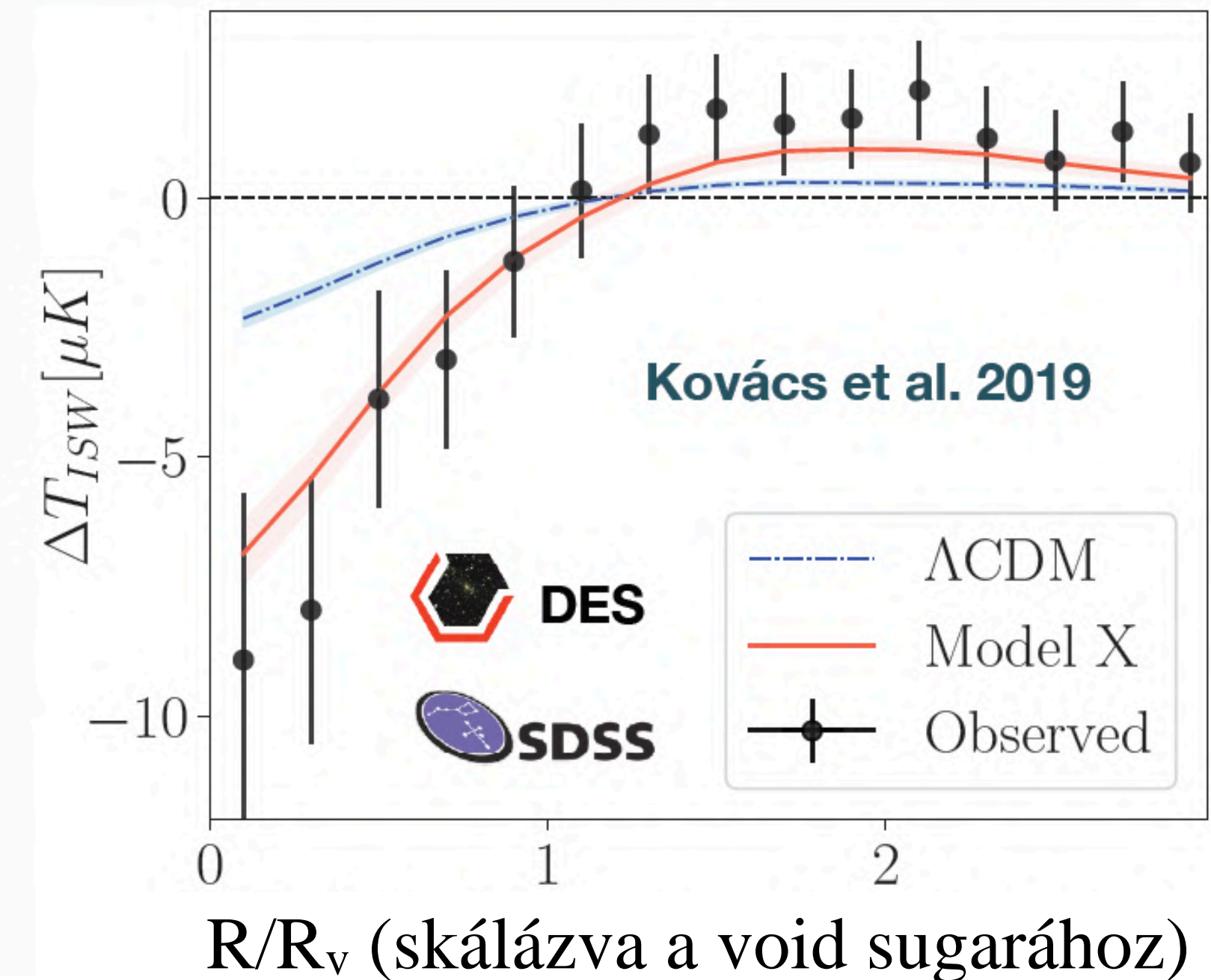
A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra

Várakozás

Megfigyelés

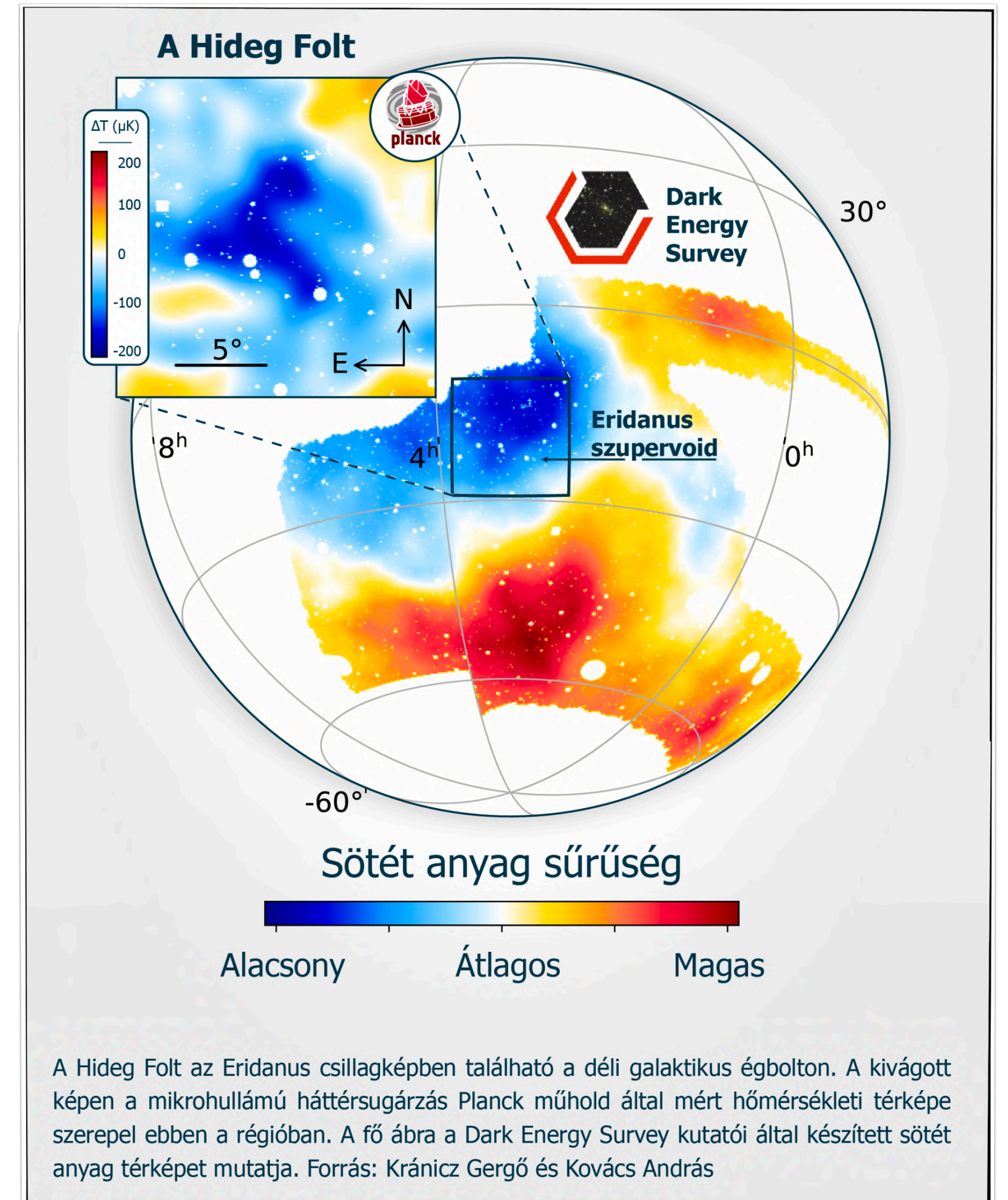
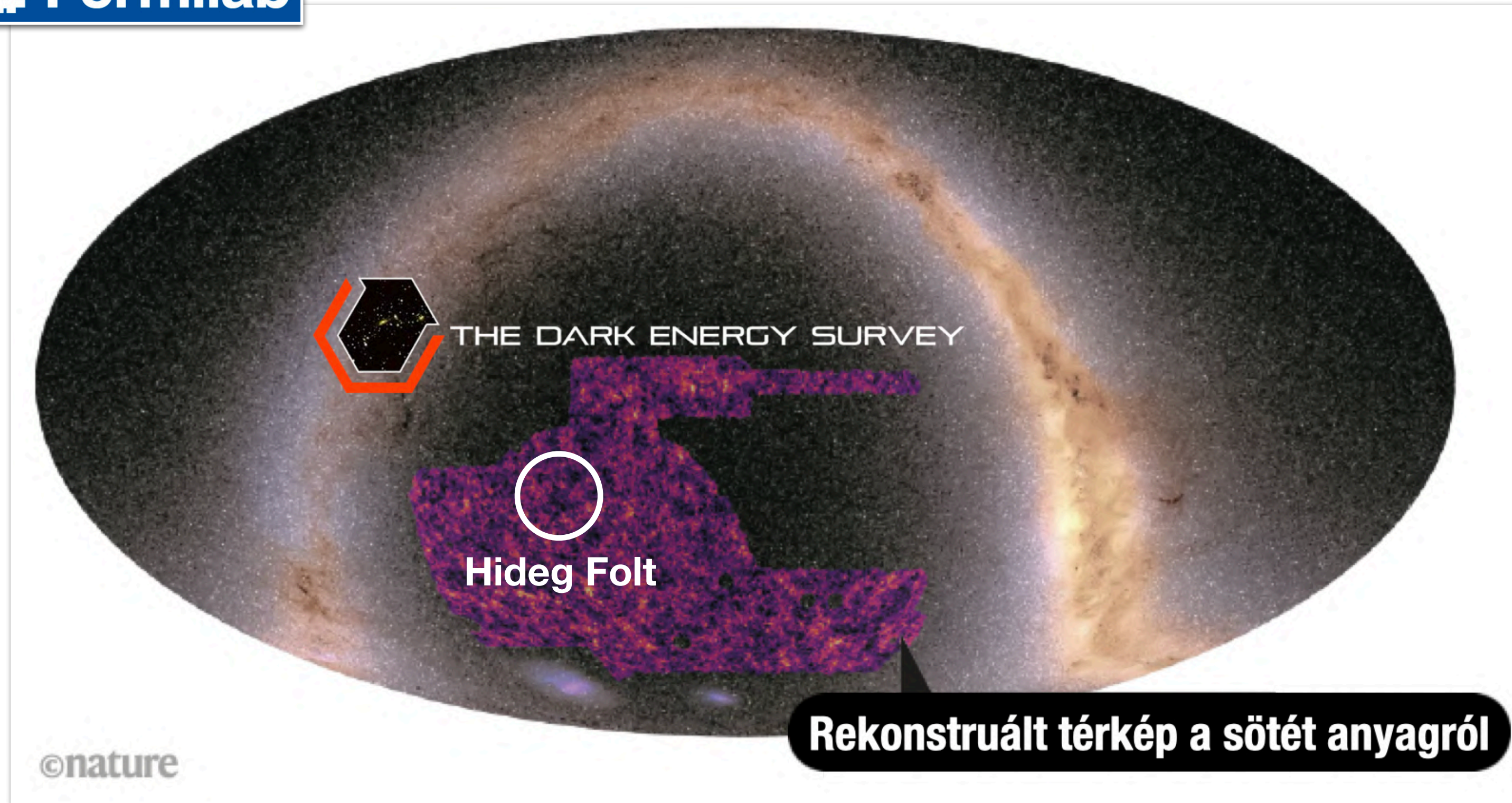


$$A_{ISW} = 5.2 \pm 1.6$$

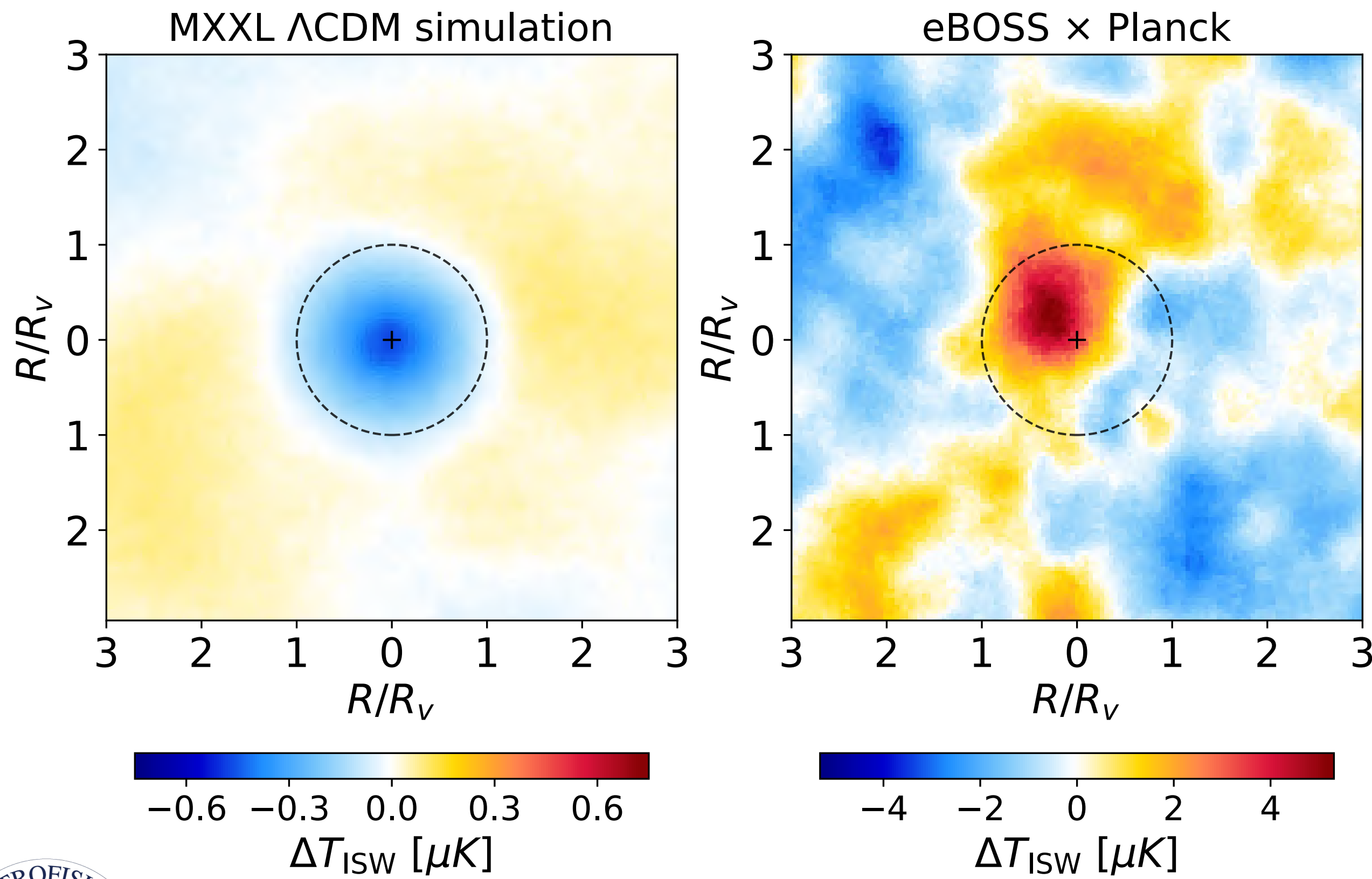


A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra

Fermilab

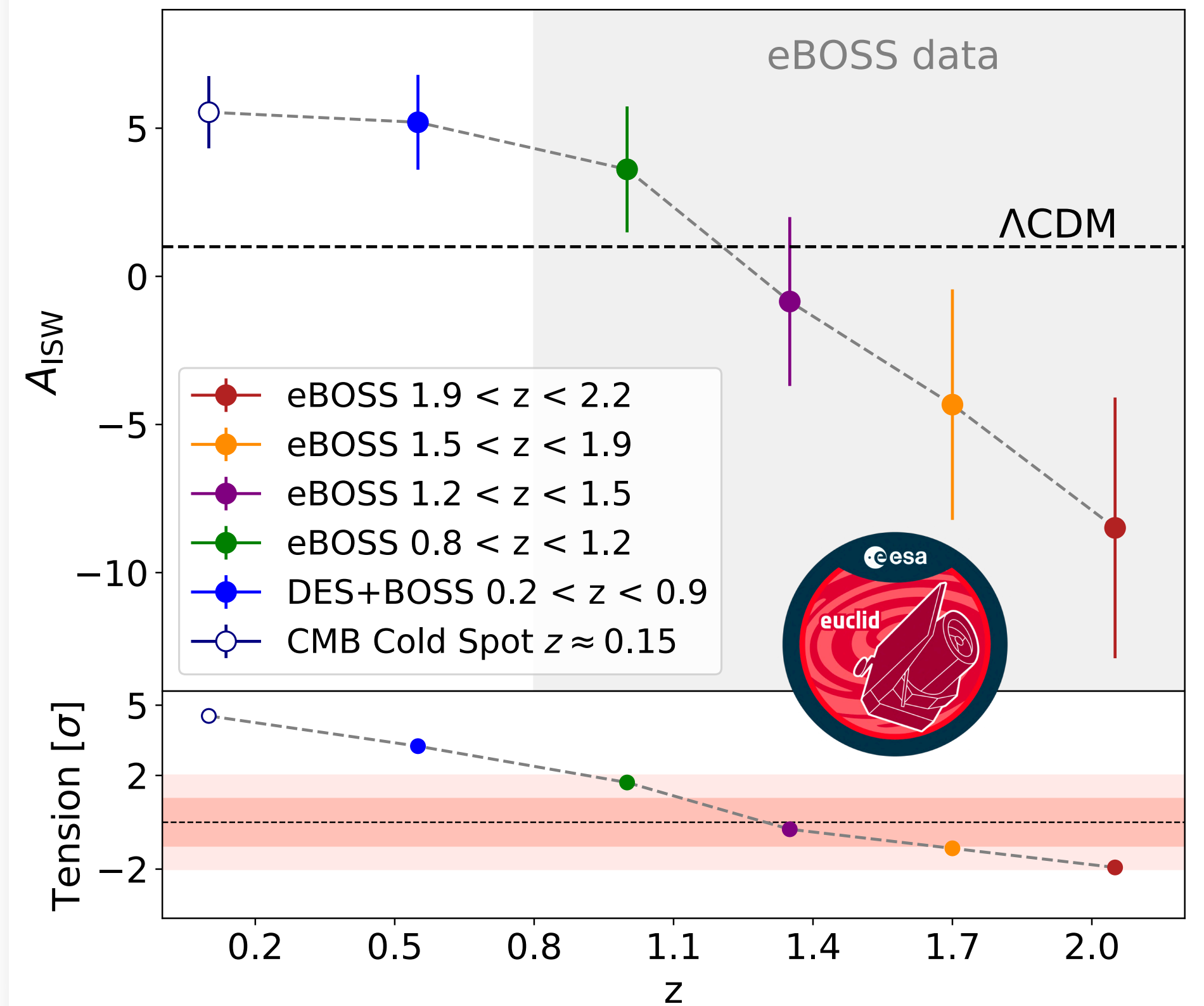


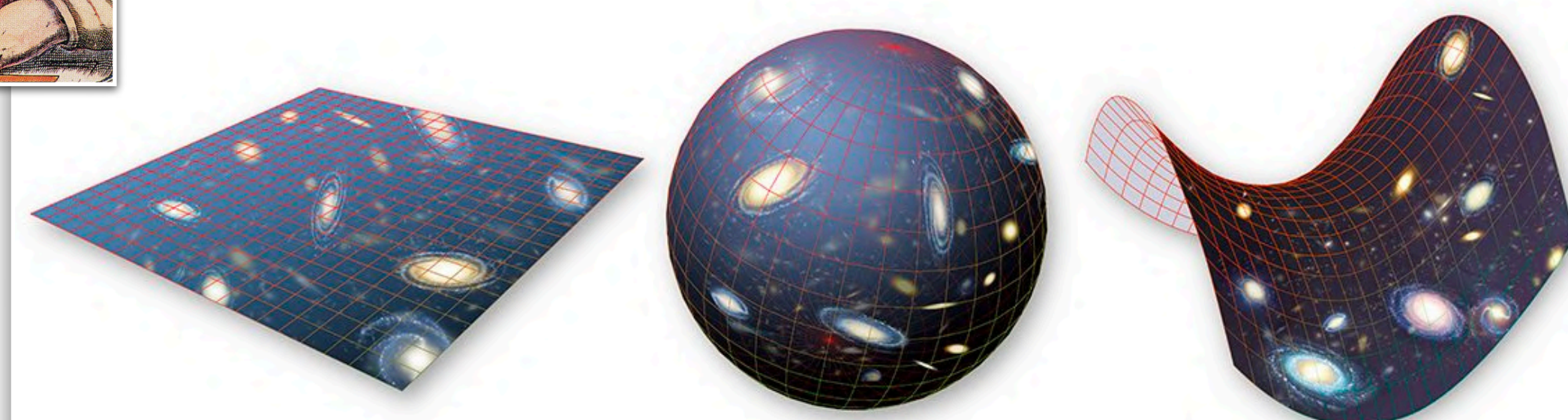
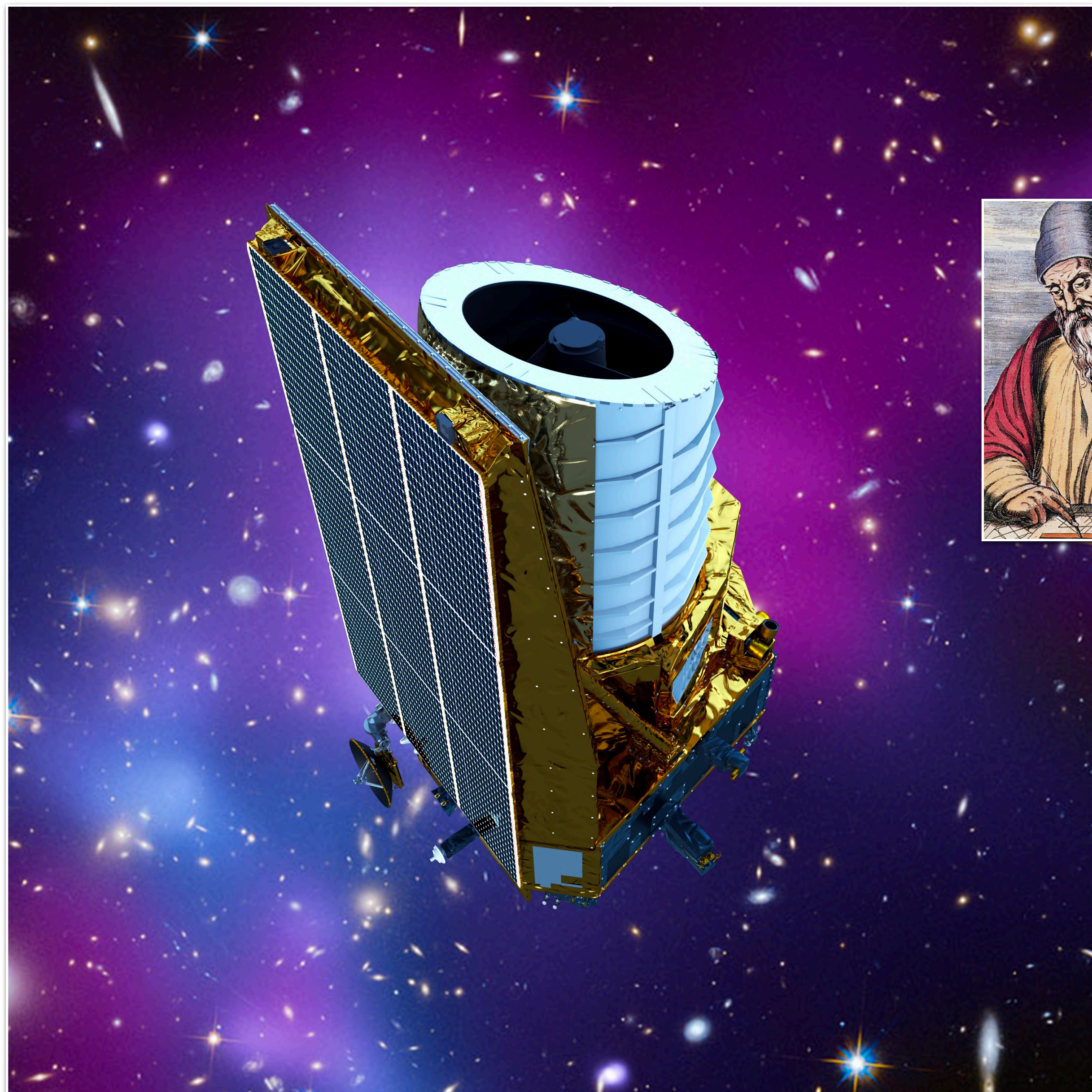
A kedvenc témám: a voidok hatásai a háttérsugárzásra



Kovács et al. 2022

$$A_{\text{ISW}} = \Delta T_{\text{obs}} / \Delta T_{\Lambda\text{CDM}}$$





Alapkérdések:

**Milyen az univerzum geometriája?
Mik a sötét komponensek tulajdonságai?**

+NASA & CSA

Euclid: óriási ESA project



**EUCLID CONSORTIUM
MEETING 2023**

19 - 23 JUNE 2023
COPENHAGEN · DENMARK

Torinóból az L2-be

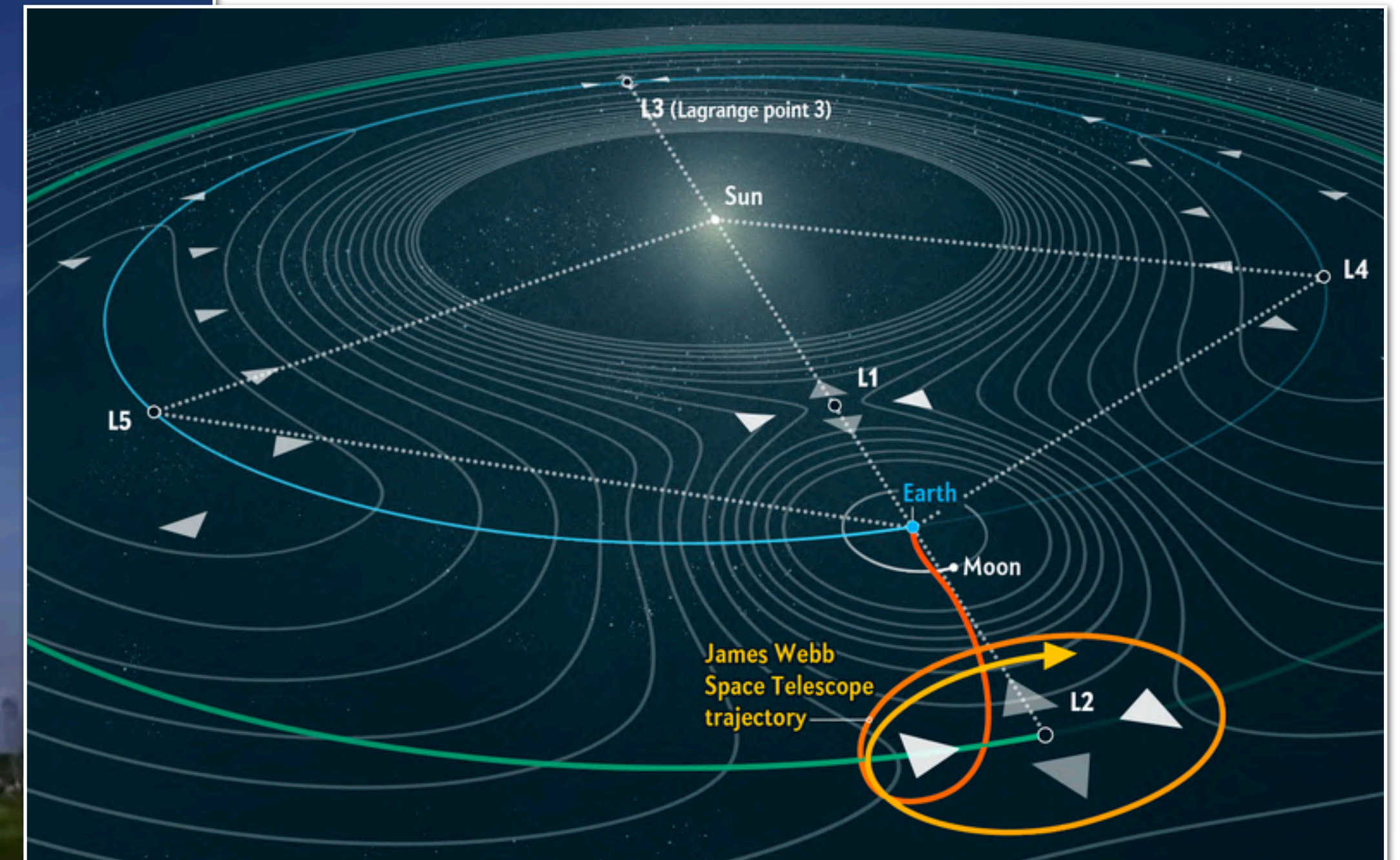




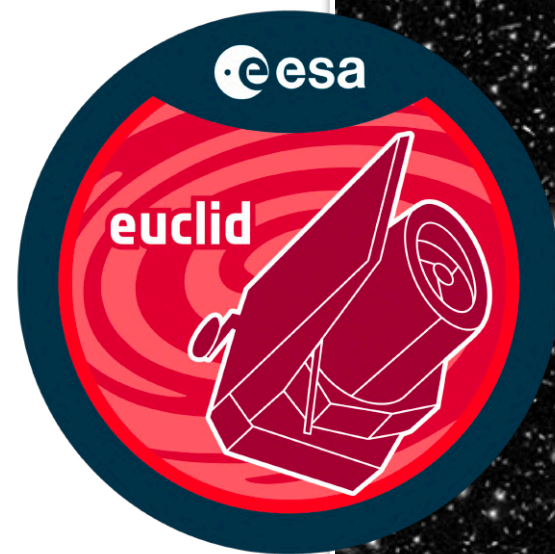
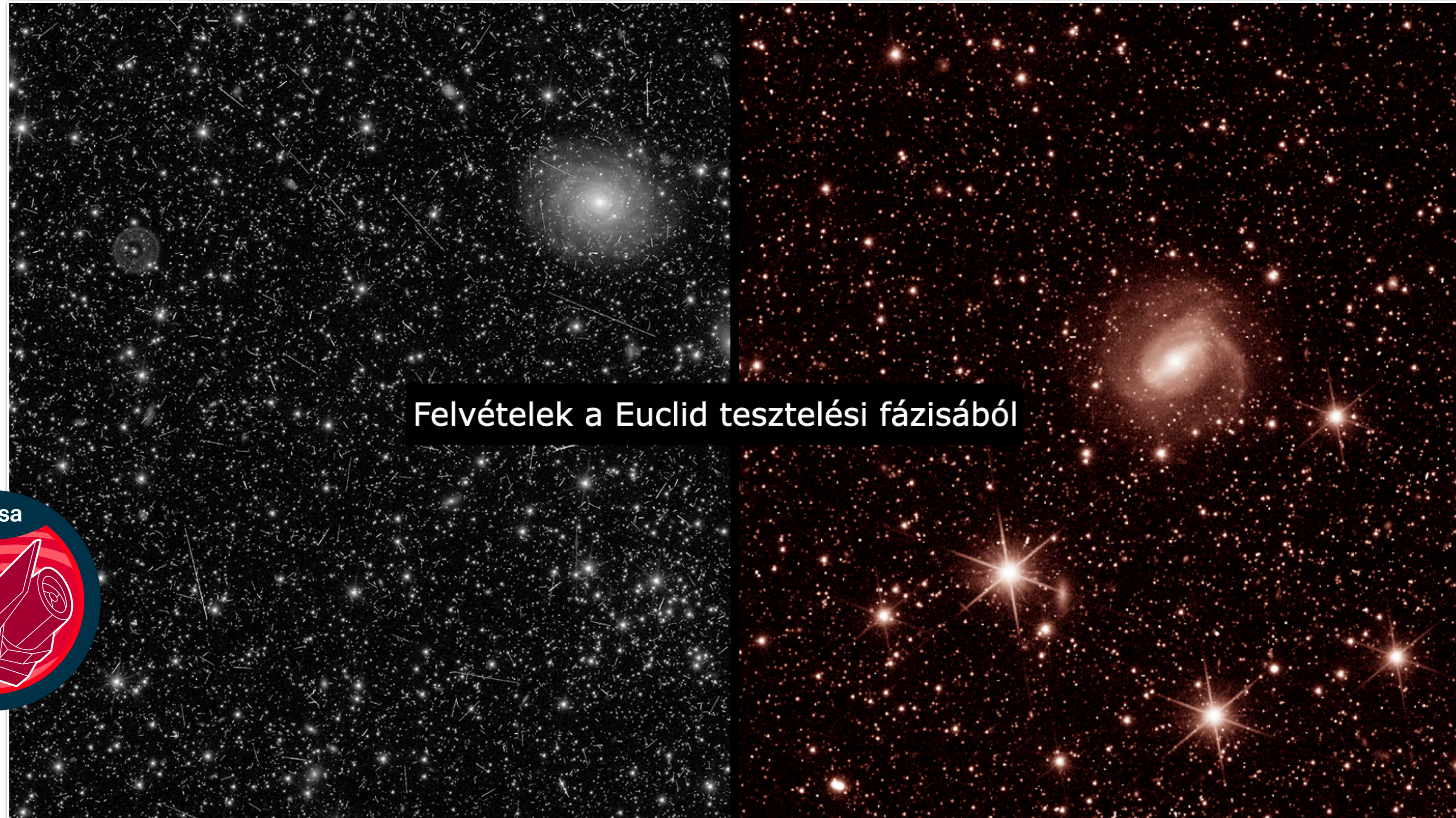
Torinóból az L2-be

A SÖTÉT UNIVERZUM FELFEDEZÉSE
Kovács András és Szabó Olivér Norton tolmácsolásában
Élőben bejelentkezik Szapudi István az indítás helyszínéről

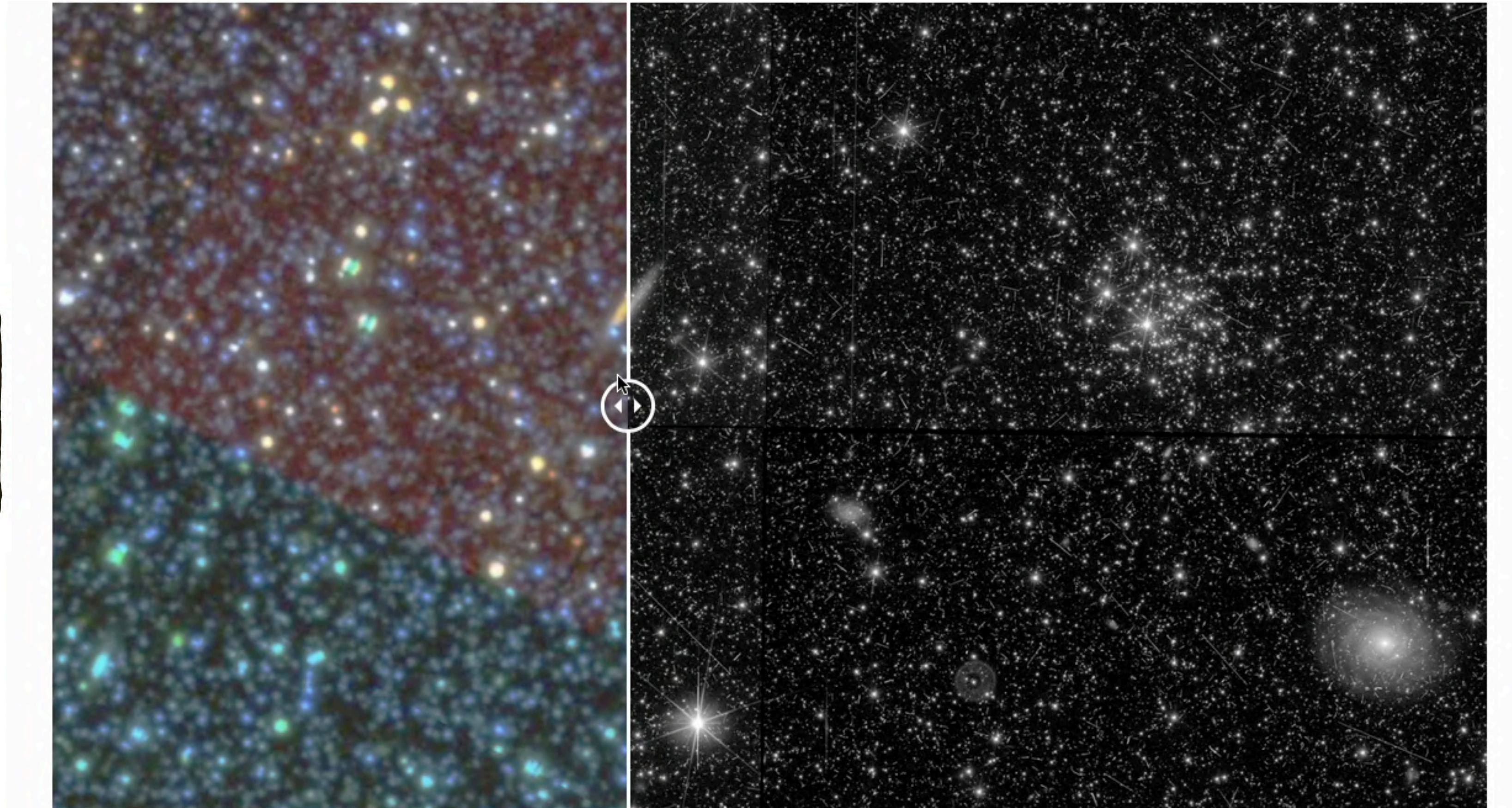
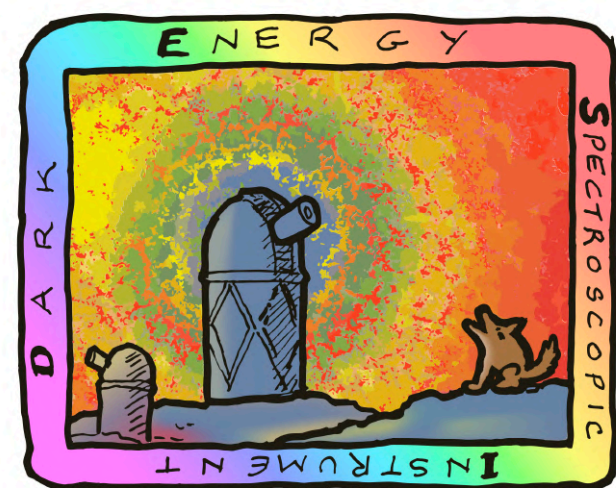
euclid
EXPLORING THE DARK UNIVERSE
július 01. 16:30 - 18:10



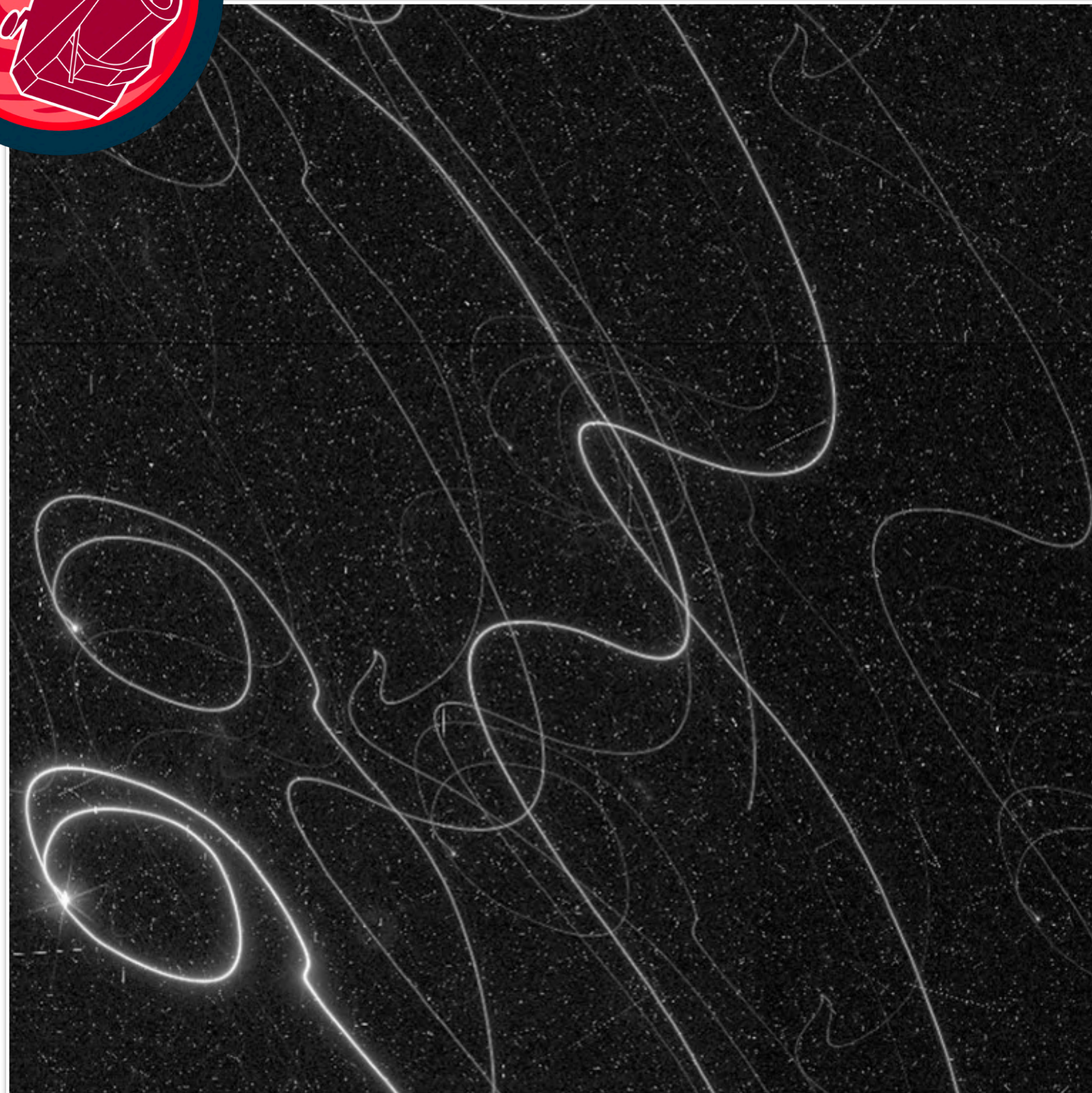
Beüzemelés után



Beüzemelés után

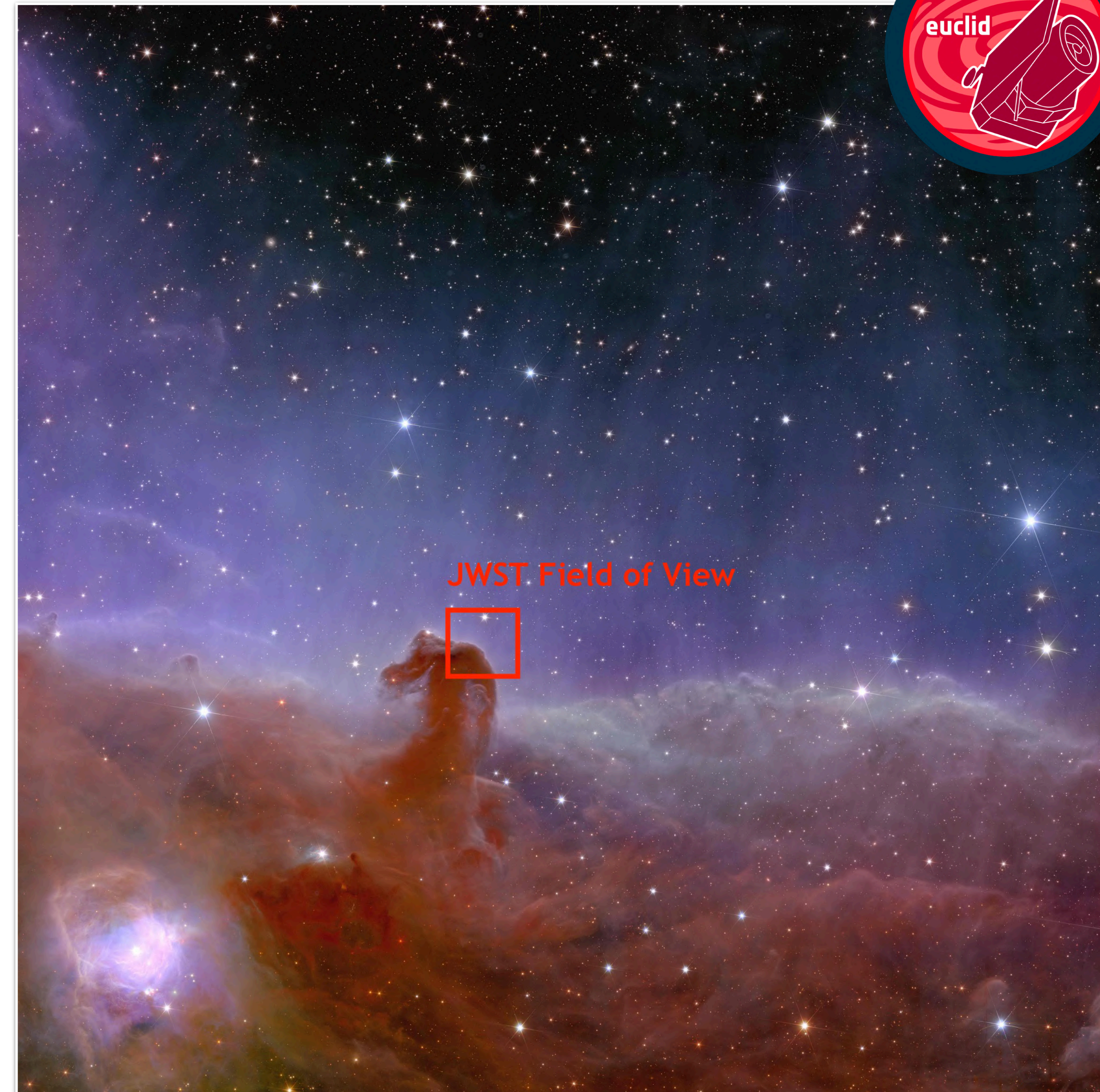


Problémák a kalibráció során



- Vártnál több és nagyobb energiájú kozmikus sugárzás
- Napfény visszaverődése néhány kisebb alkatrészről
- Szoftveres megoldás és némi újratervezés (+6 hónap kell..)

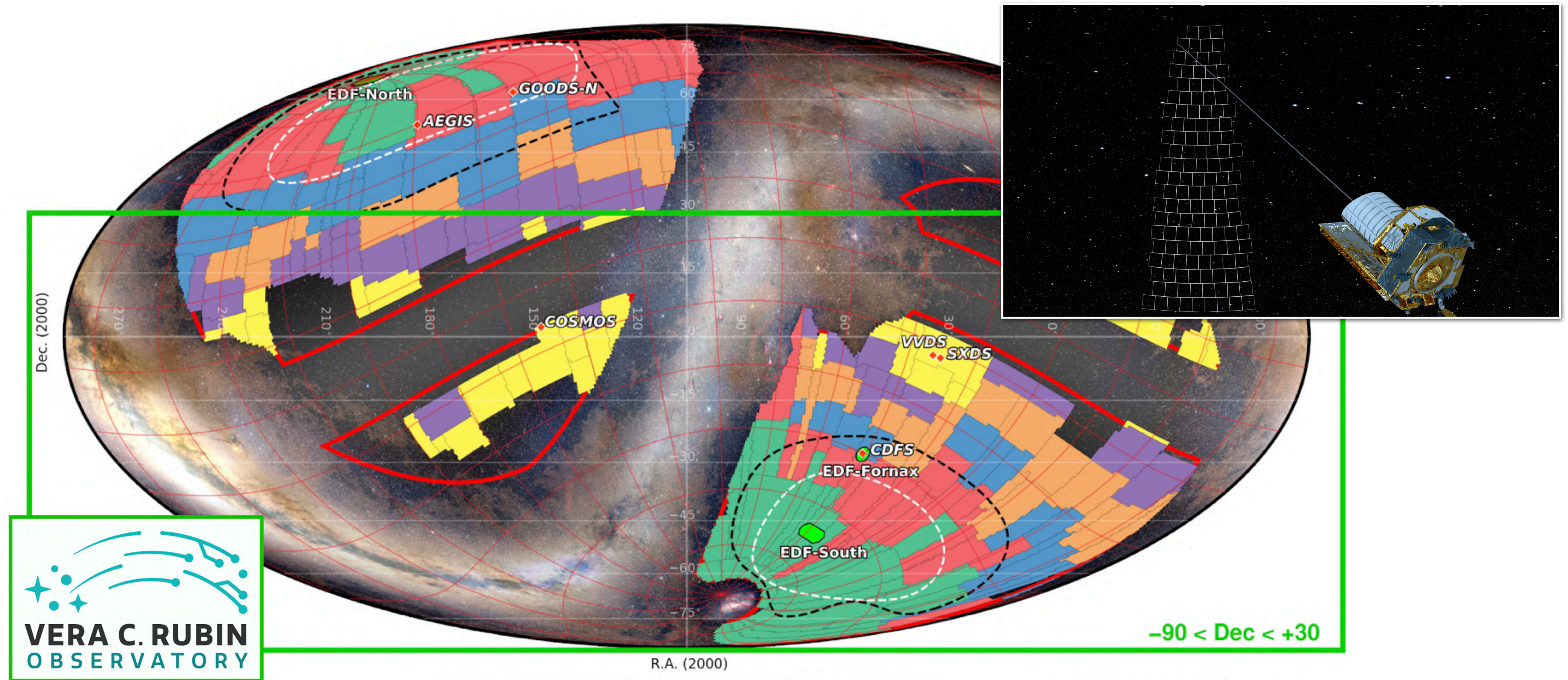
Az első tudományos képek



Az első tudományos képek



Tervezett égboltfelmérés

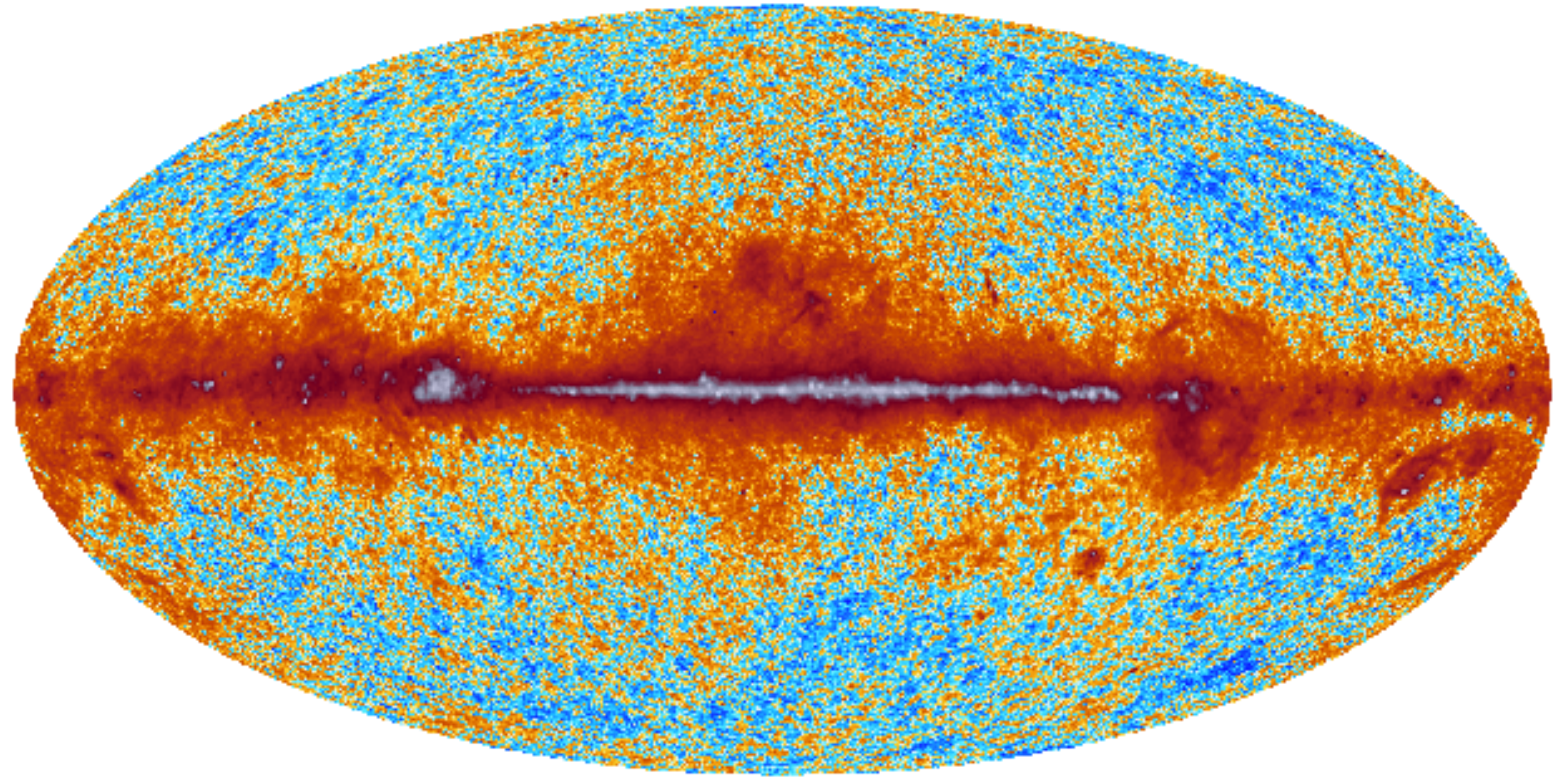
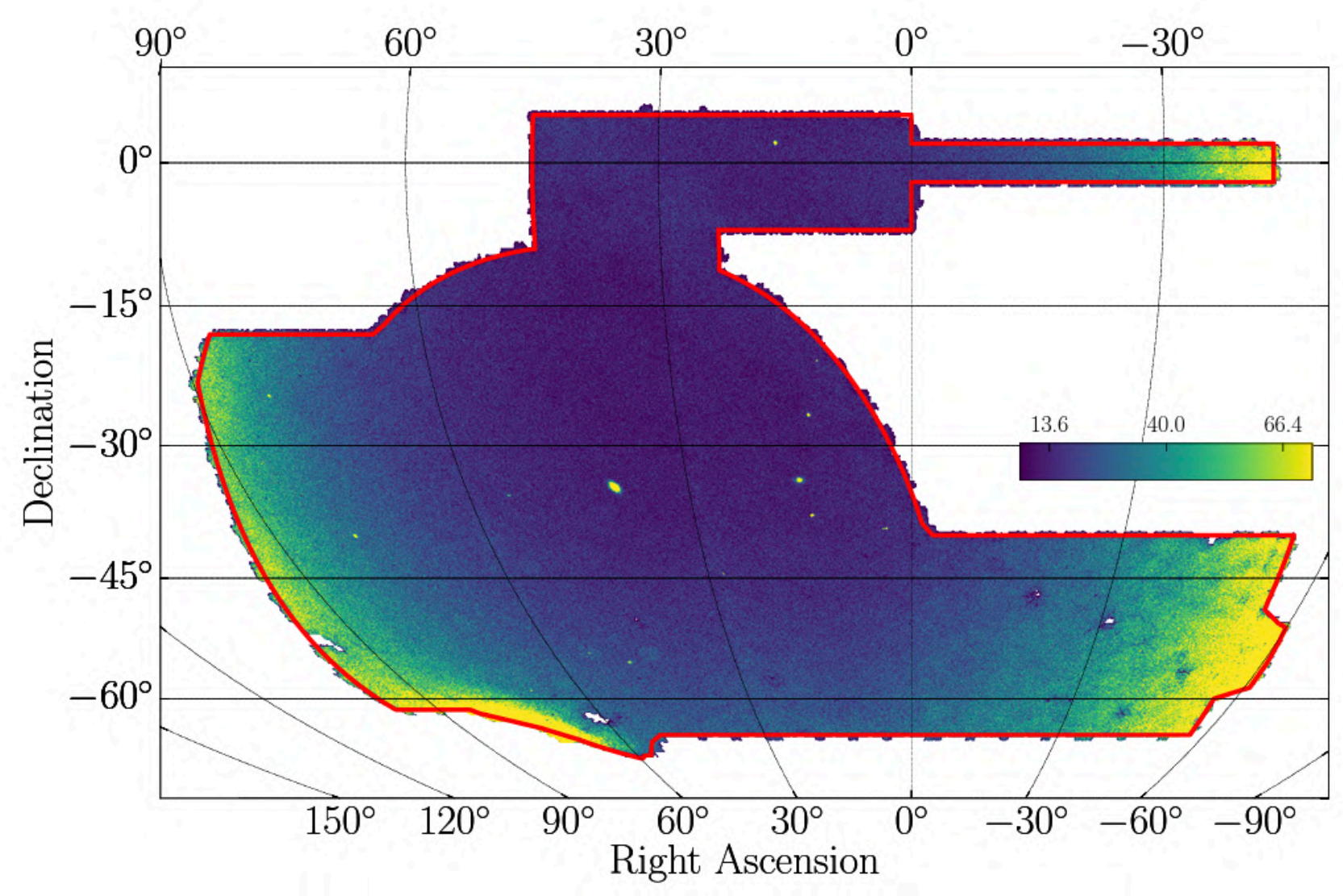
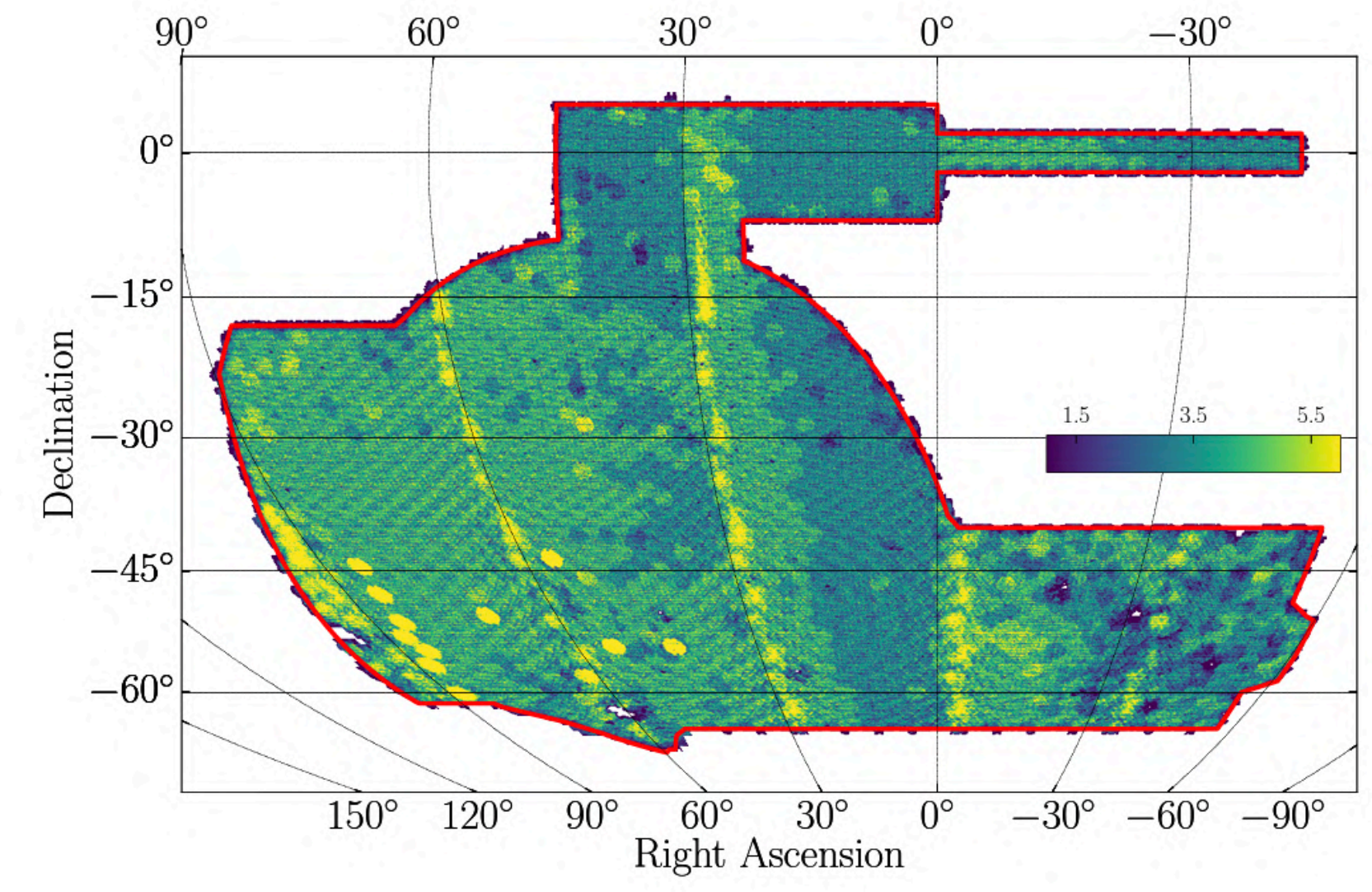


Euclid égtérképezési stratégia (~2500 négyzetfok/év)

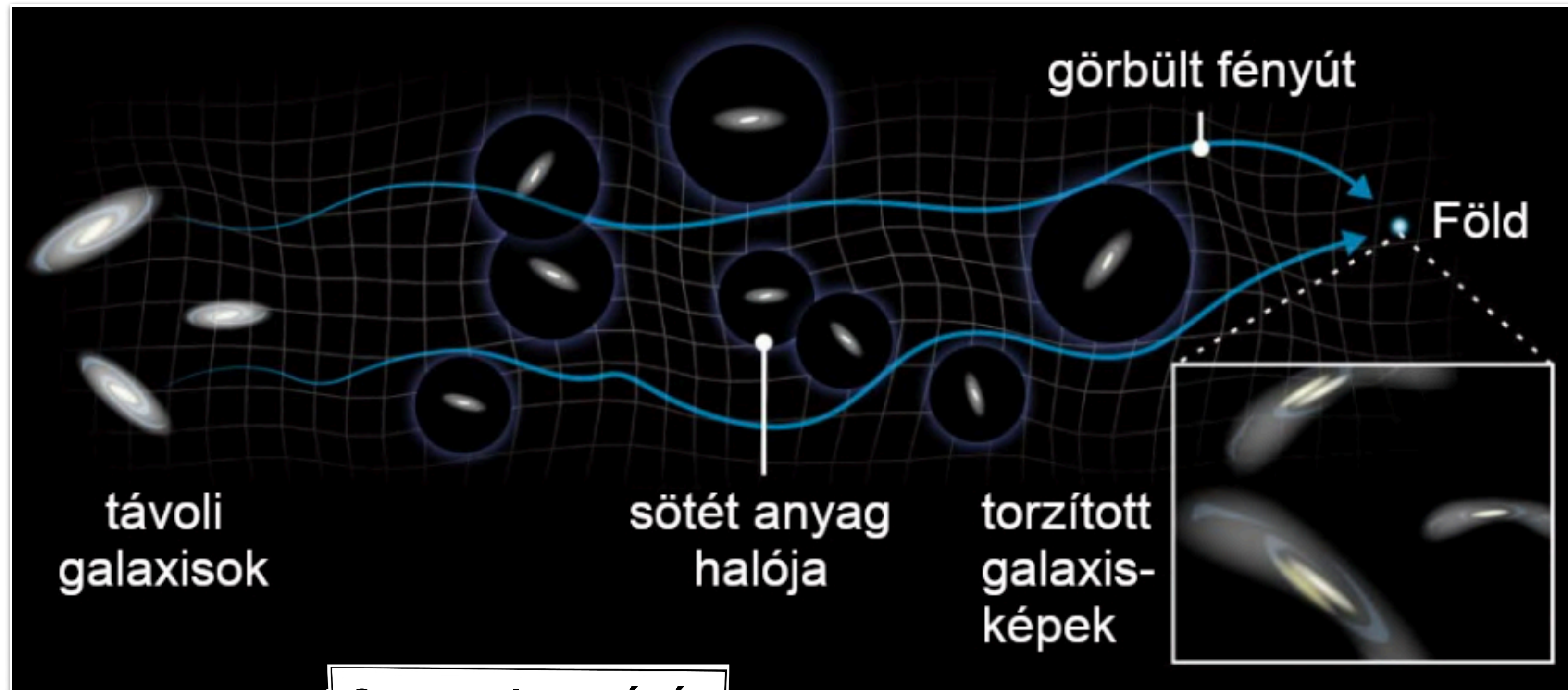


Teljes megfigyelt terület az égbolton (~15 000 négyzetfok)

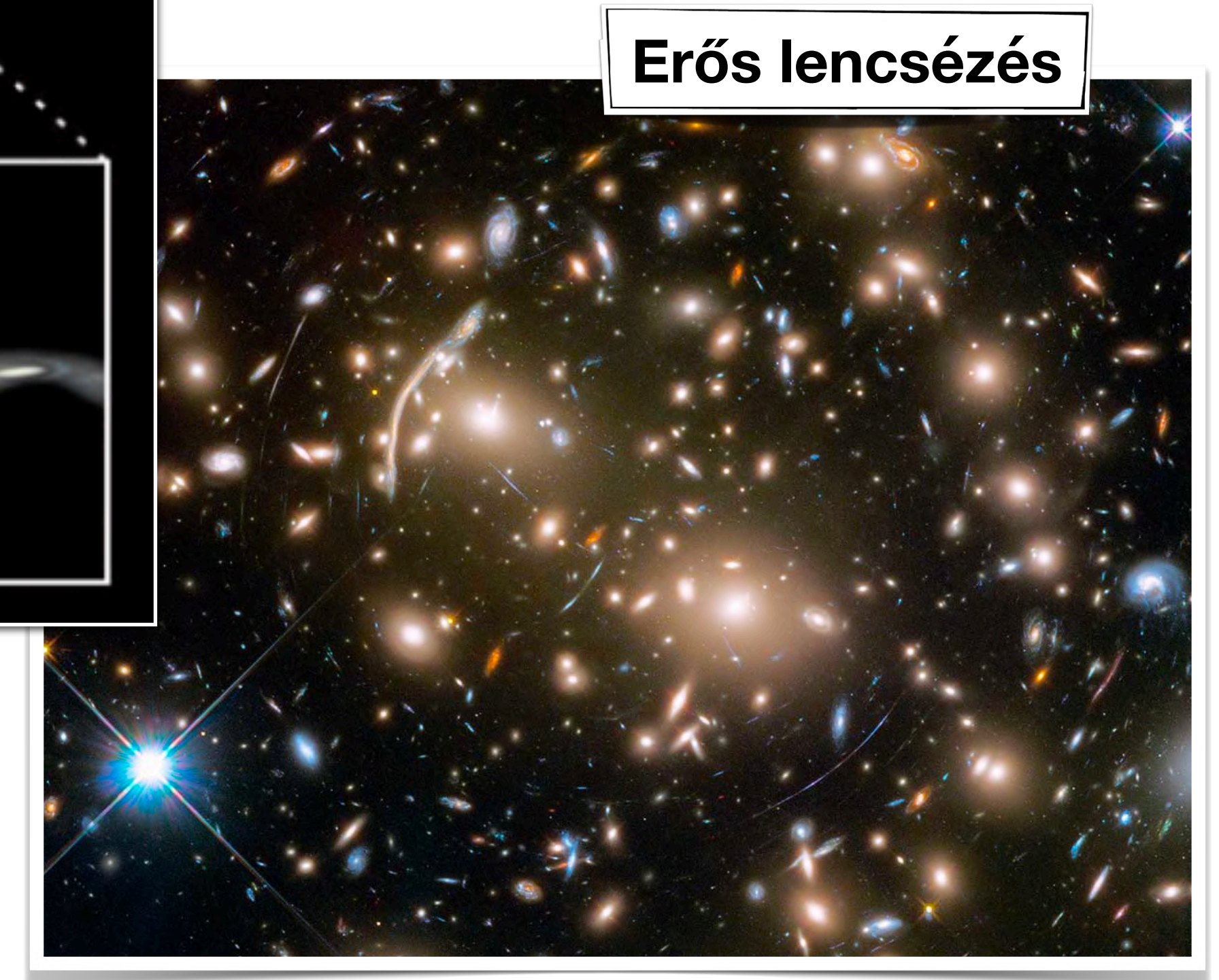
...plusz szisztematikus hibaforrások!



Euclid mérés 1: galaxisok torzulása

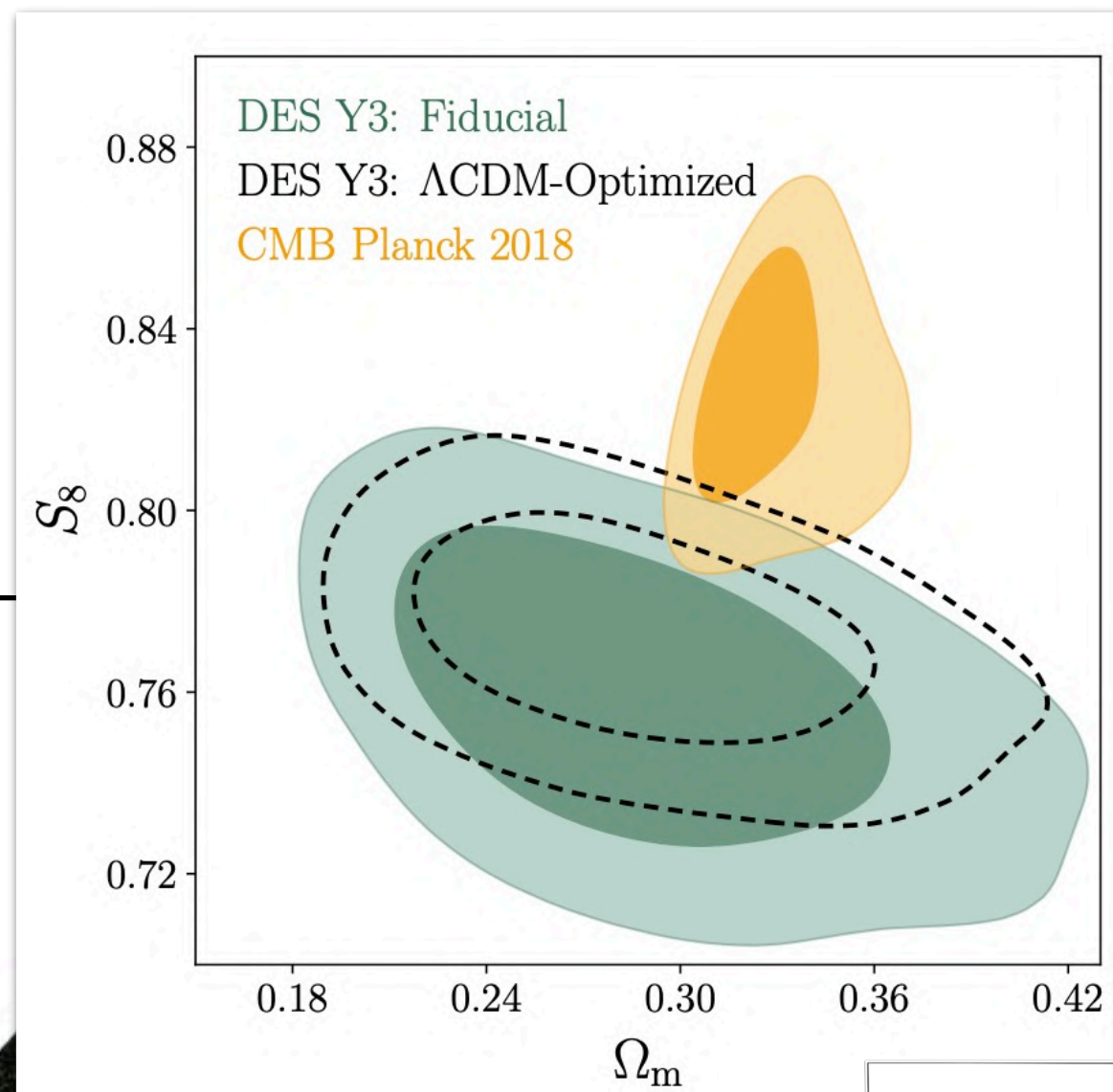


Gyenge lencsésítés



Dark Energy Survey

Euclid mérés 1: galaxisok torzulása



DES: 300 millió galaxis

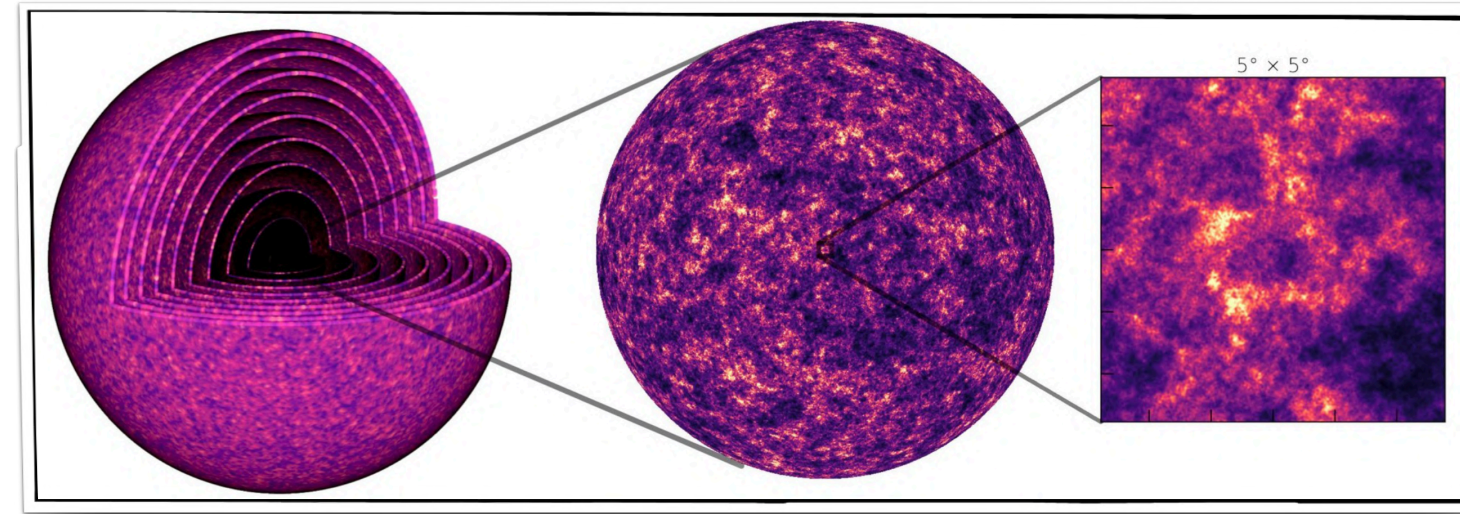
N. Jeffrey; Dark Energy Survey Collaboration

Dark Matter map from DES observations

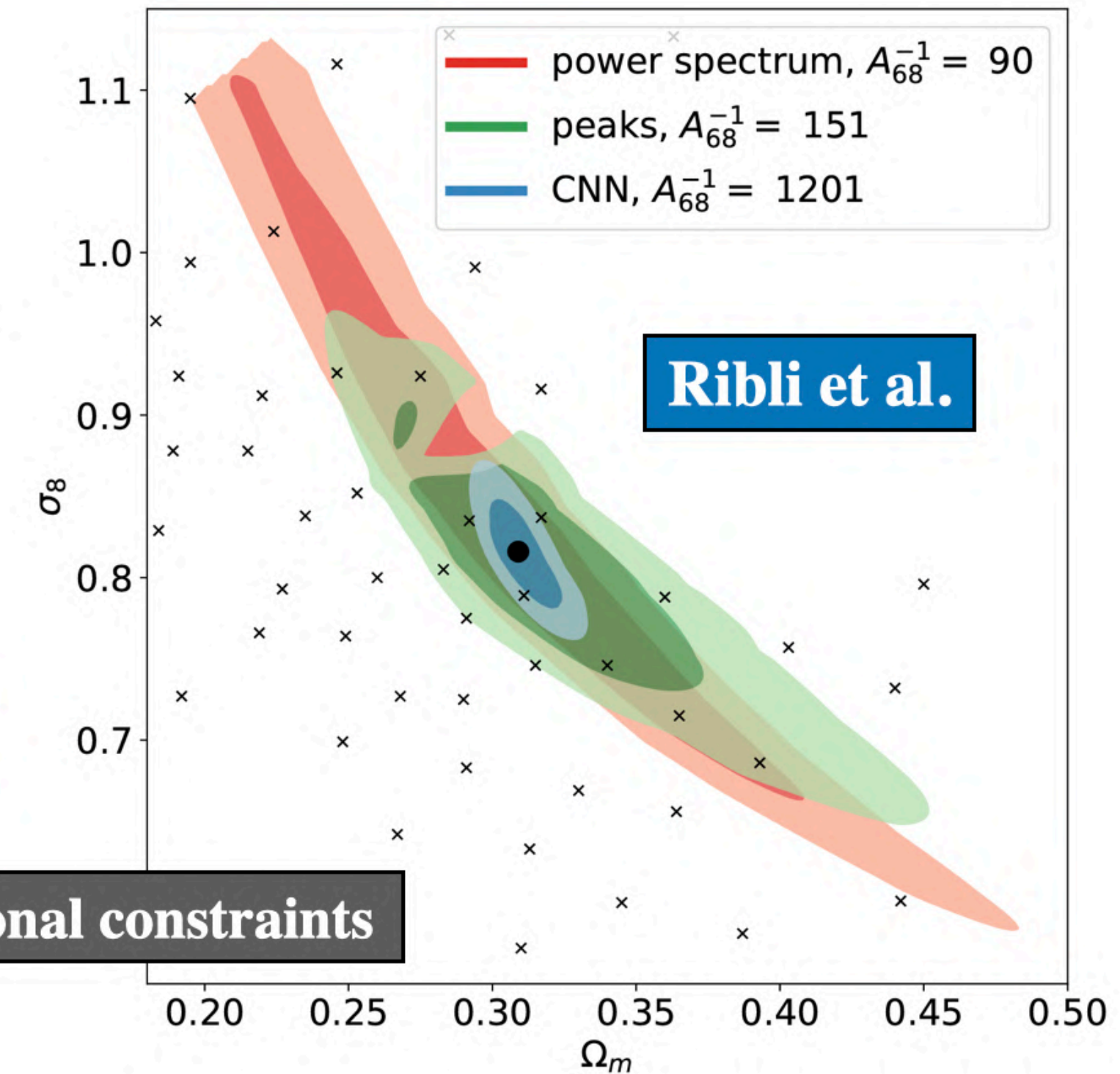
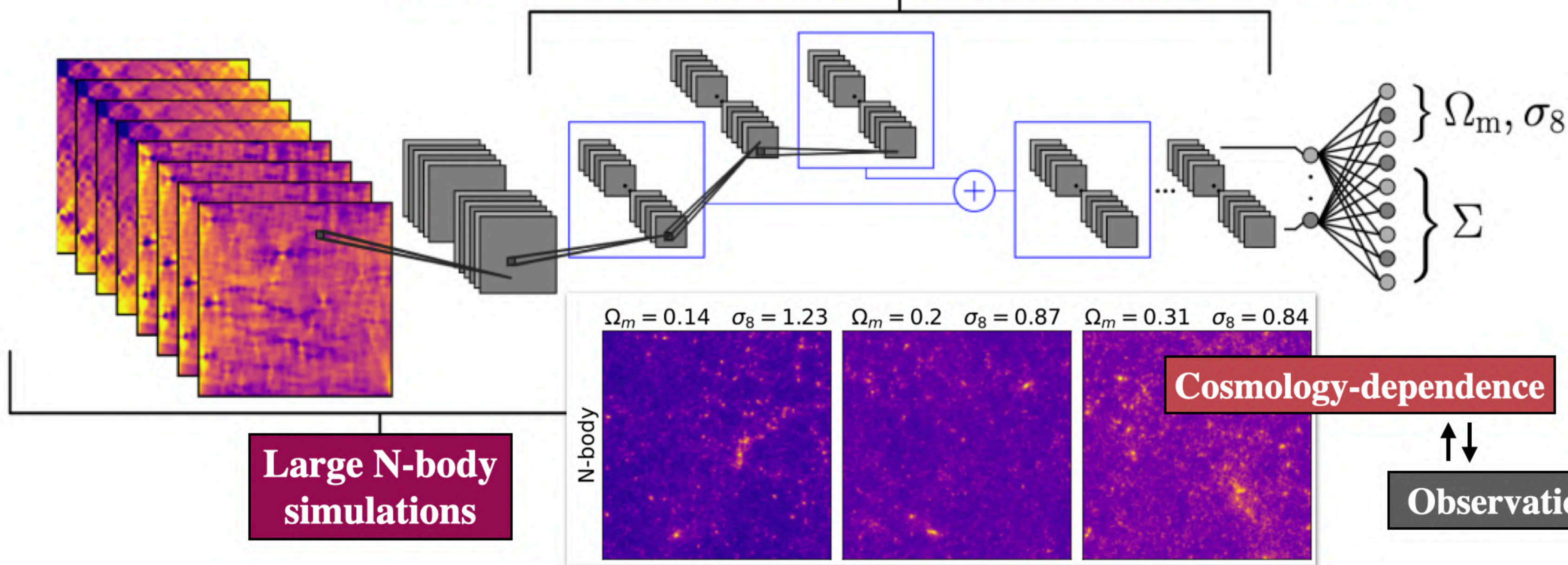


Cél: 1 milliárd galaxis

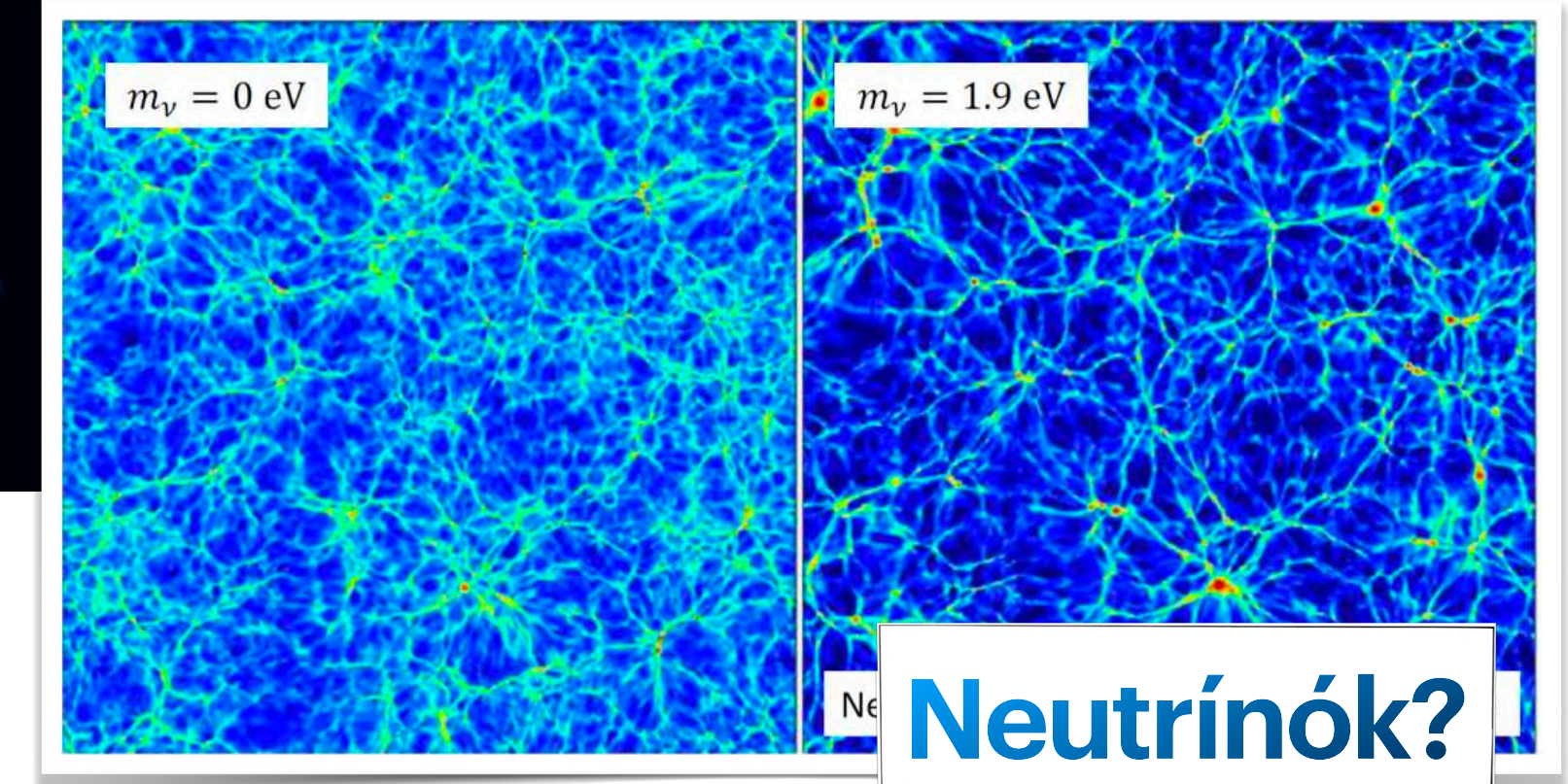
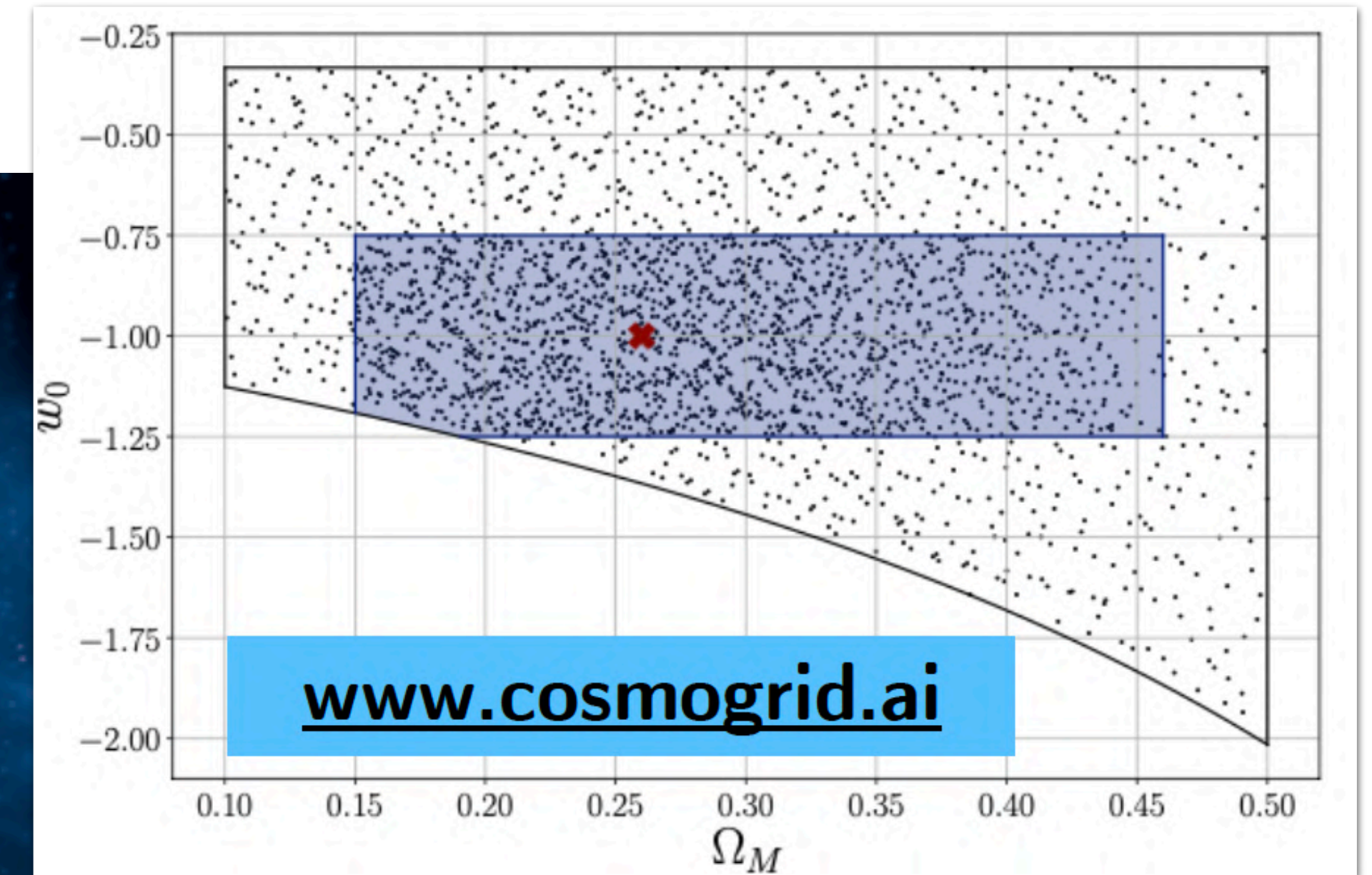
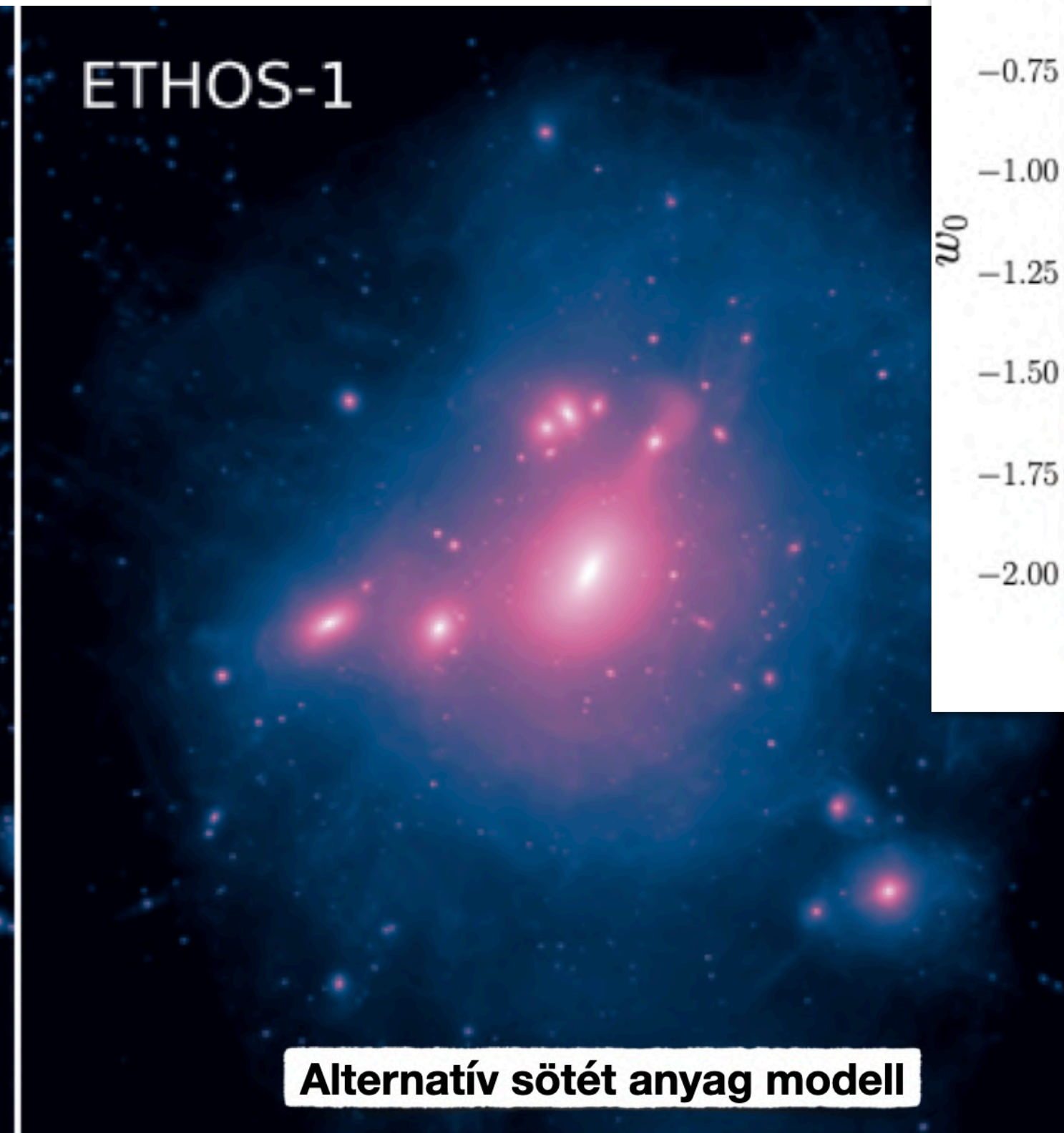
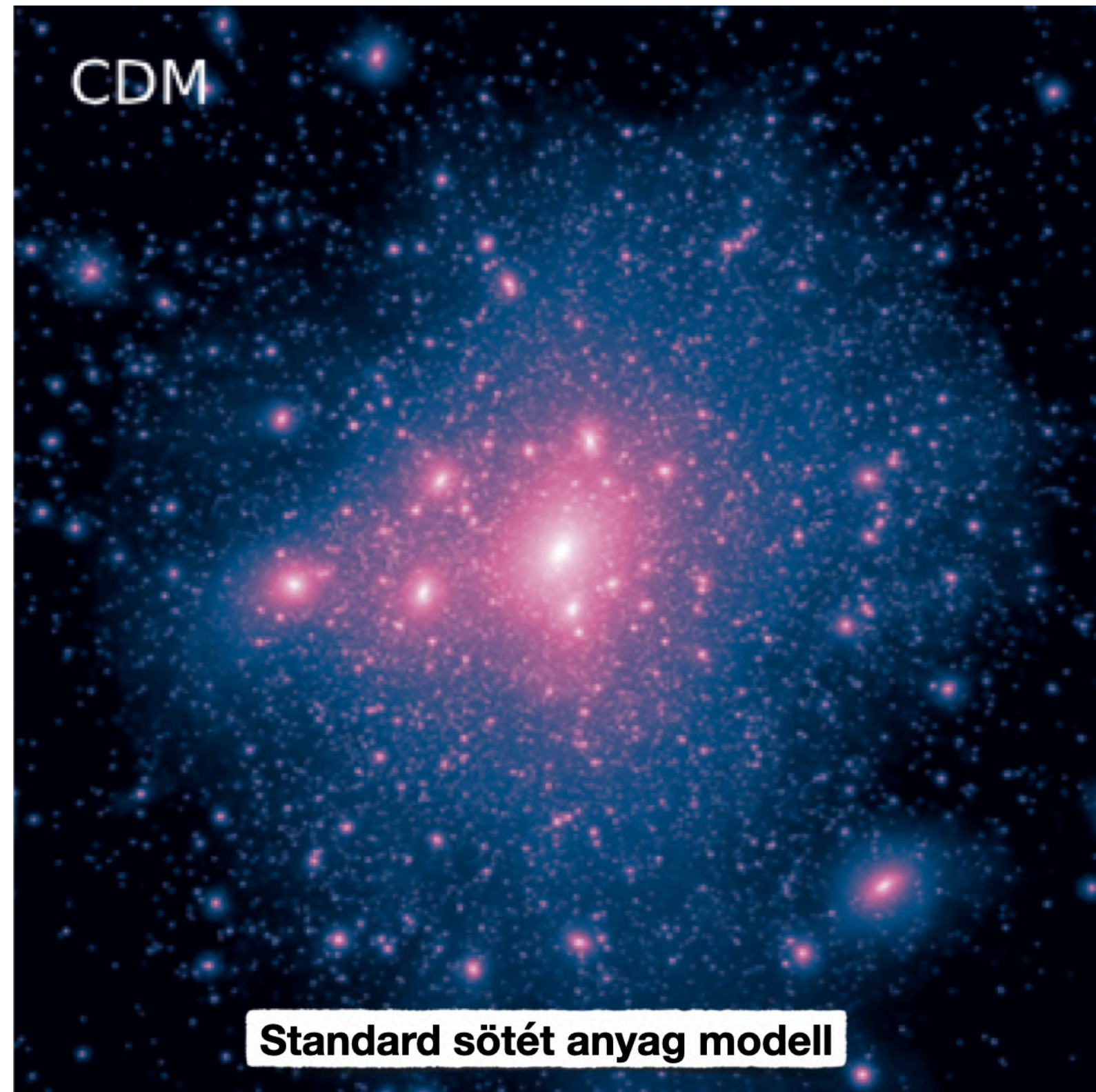
Mire használható ez az információ?



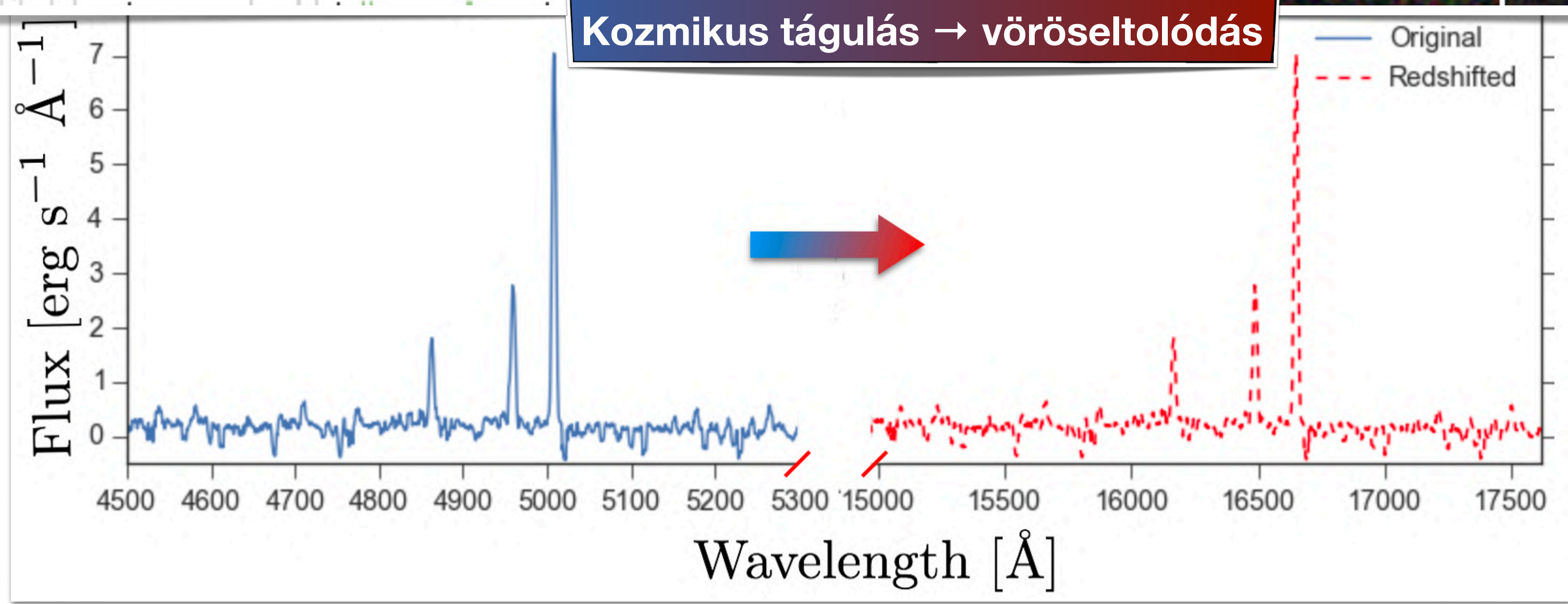
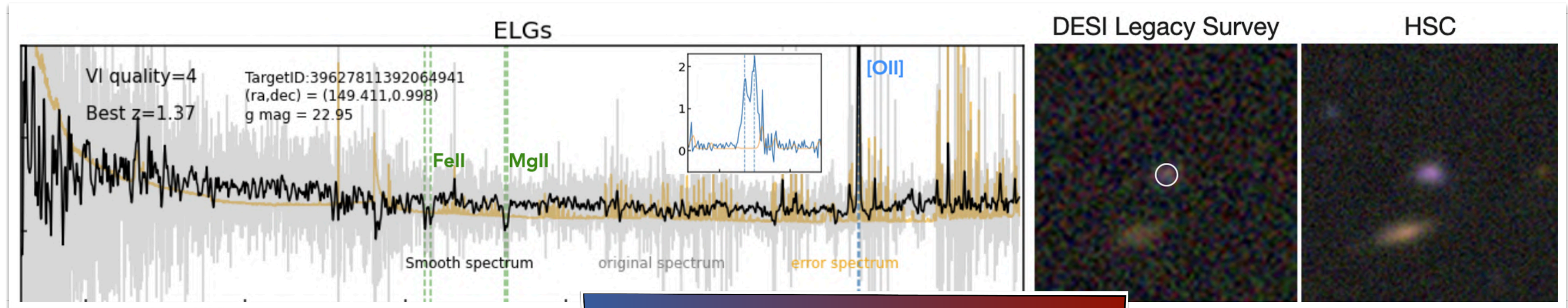
Extracting information from galaxy maps with ML



Mire használható ez az információ?



Euclid mérés 2: galaxisok távolsága

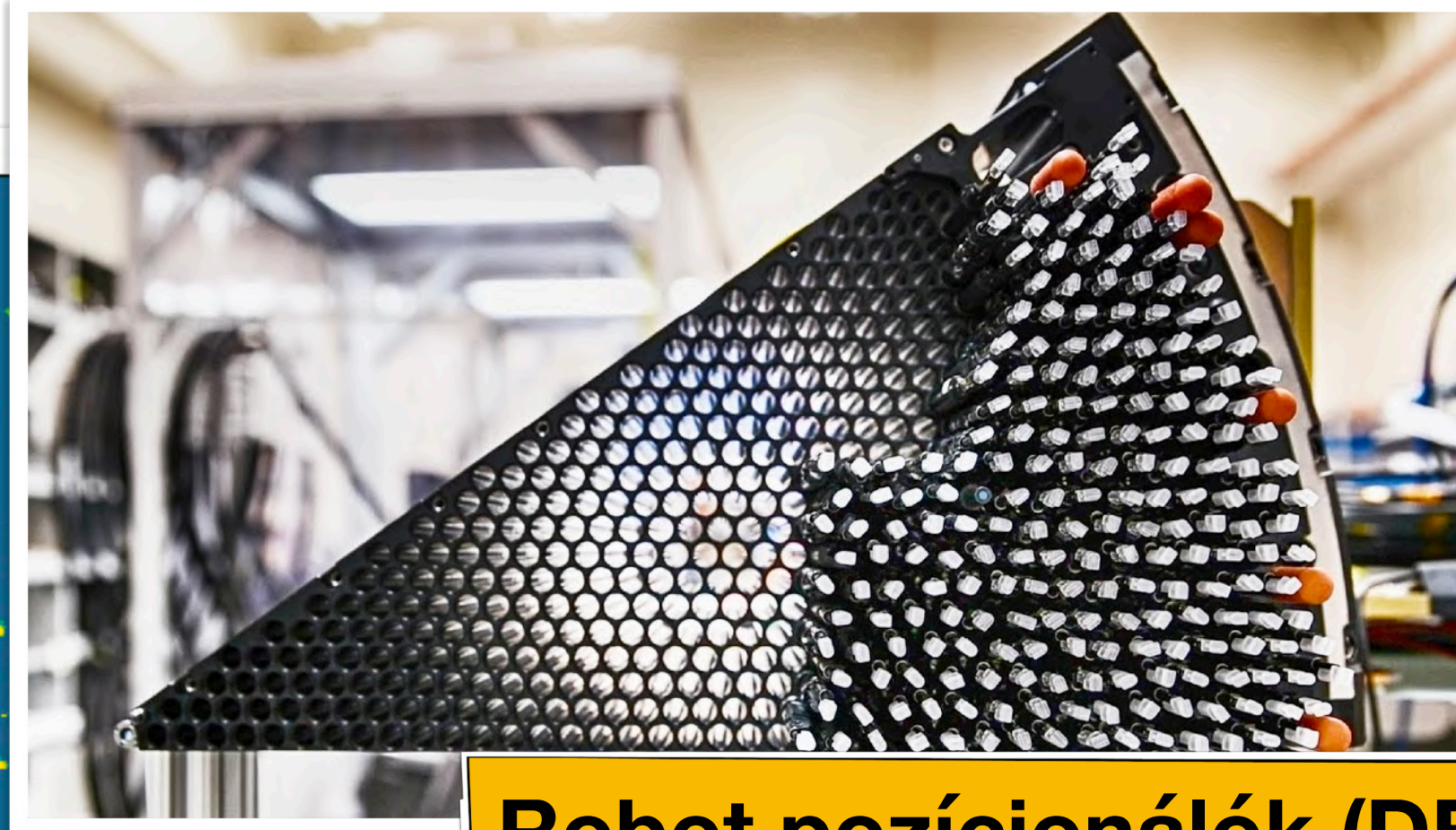


Euclid mérés 2: galaxisok távolsága

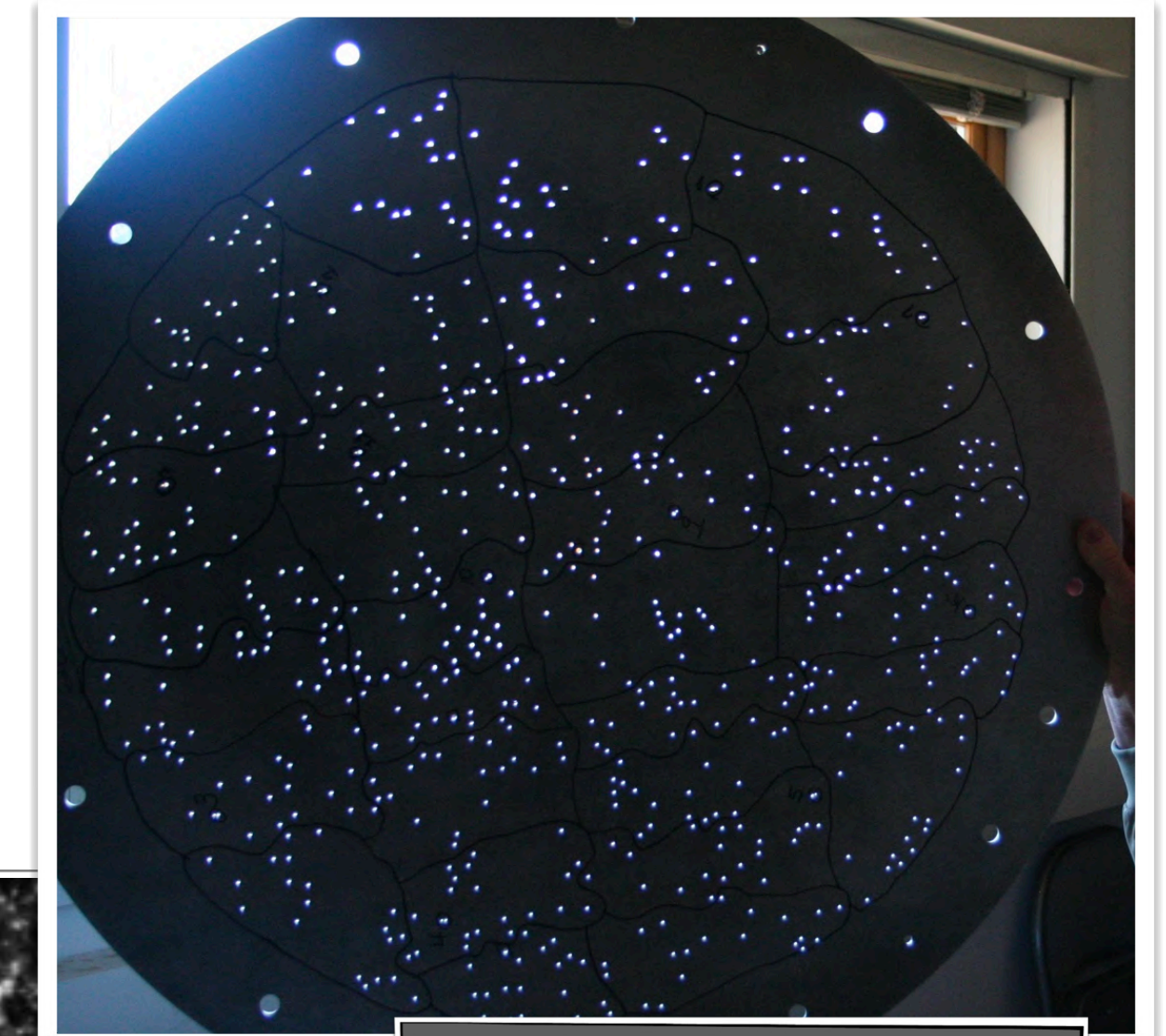
**Euclid NISP berendezés:
milyen adatok várhatóak?**



Cél: 35 millió galaxis



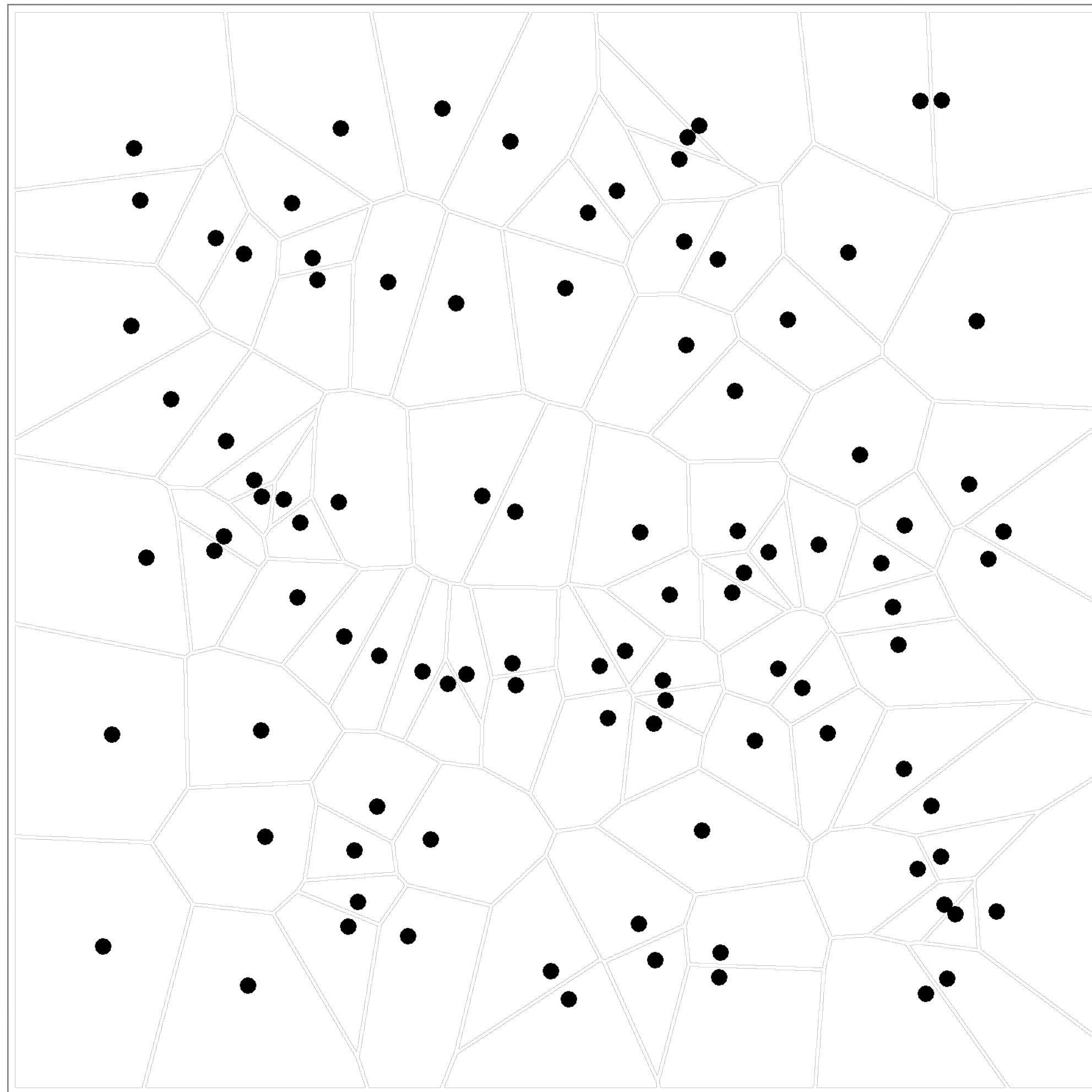
Robot pozícionálók (DESI)



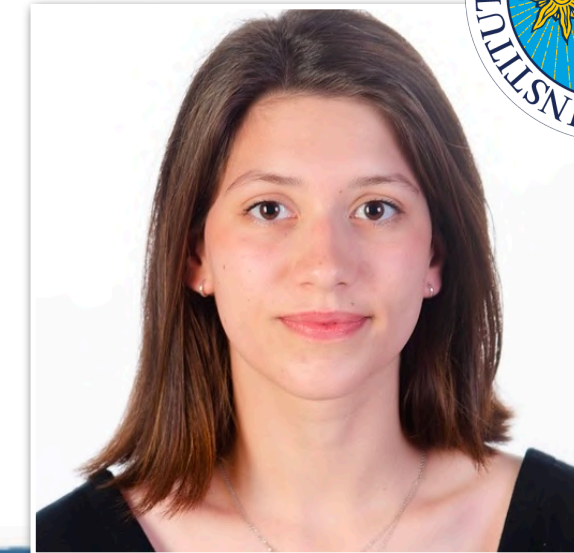
SDSS lemezek



Euclid mérés 3: mit csinálunk mi?



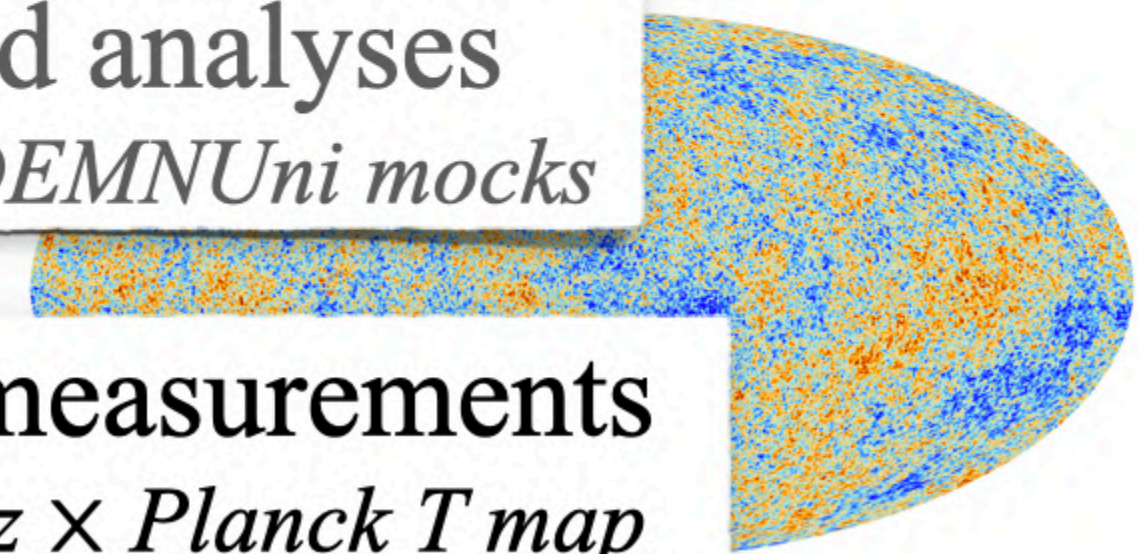
...és hogyan? Pl.: Voronoi tesszelláció



PhD thesis work by Mar Pérez Sar
Supervisors: A. Kovács, C. Hernández-Monteagudo

ISW: simulated analyses
Voids in Flagship + DEMNUni mocks

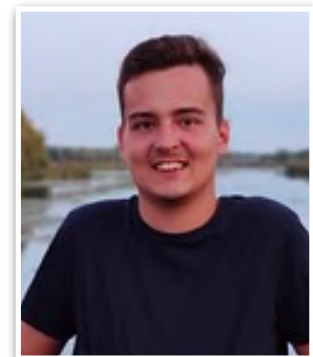
ISW: Euclid measurements
Photo-z and Spec-z \times Planck T map



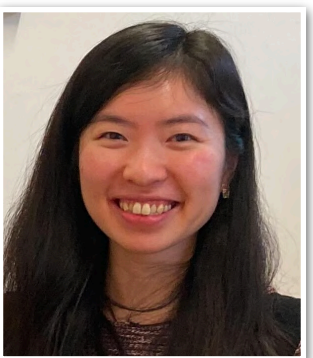
Euclid mérés 3: mit csinálunk mi?



Nestor Arsenov
Part-time PhD student



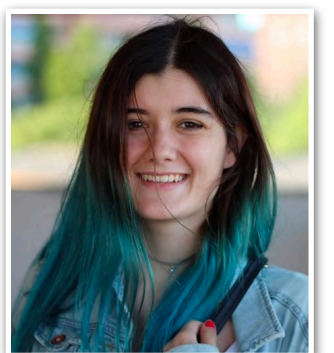
Erik Gebhard
MSc thesis work



Christine Lee
Intern, BSc degree



Ágnes Bogdán
ELTE BSc student



Gisela Camacho
Intern, MSc degree

Konkoly Observatory



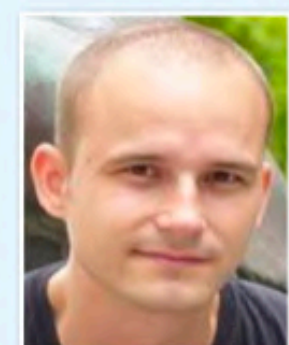
Konkoly's outreach dept.



OTKA External Collaborators & Alumni



István Szapudi
University of Hawaii

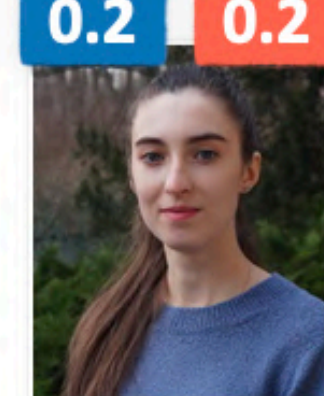


Gábor Rác
Jet Propulsion Laboratory

Eötvös University



István Csabai
Group leader & professor



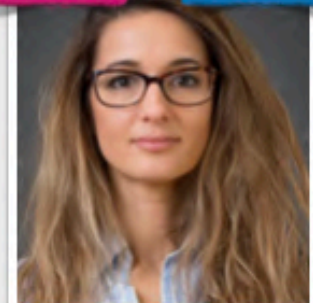
Barbara Matécsa
PhD student

PI: I. Csabai, Co-I: A. Kovács



Funding source II.
2024-2028

0.8 0.2



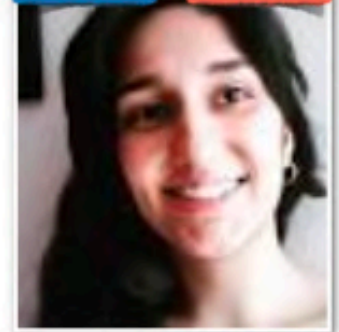
Adrienn Ádám
Senior Sci-Com lead & PR expert

0.2



Júlia Katona
Physics BSc & Communication MA

0.2 0.2



Mina Ghodsi
PhD student



András Kovács
Research Fellow

0.2 0.2



New member

0.2 0.8



PI: A. Kovács



Judit Nagy

0.8 0.2



FTE in CSFK Sci-Com Tasks

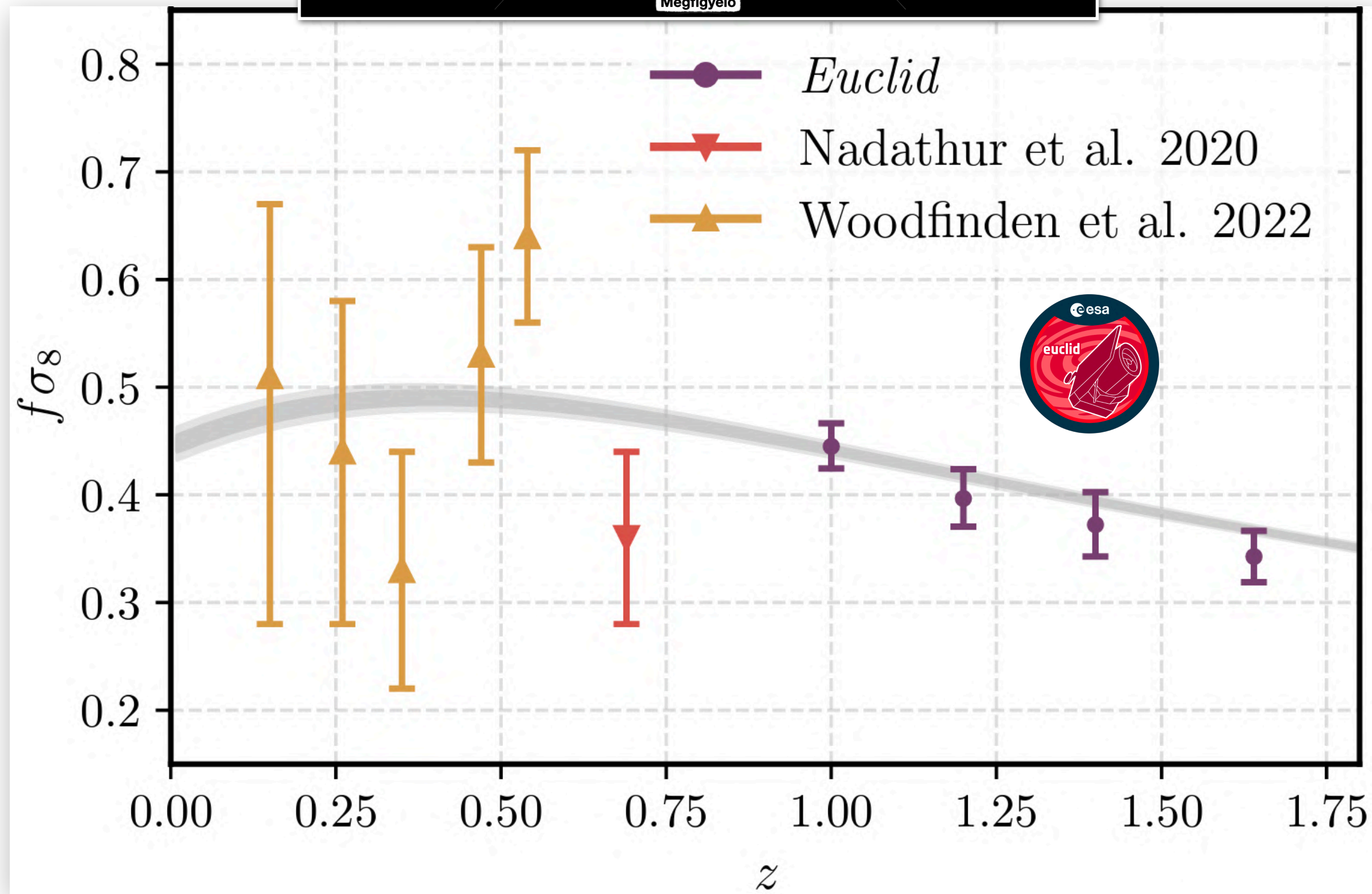
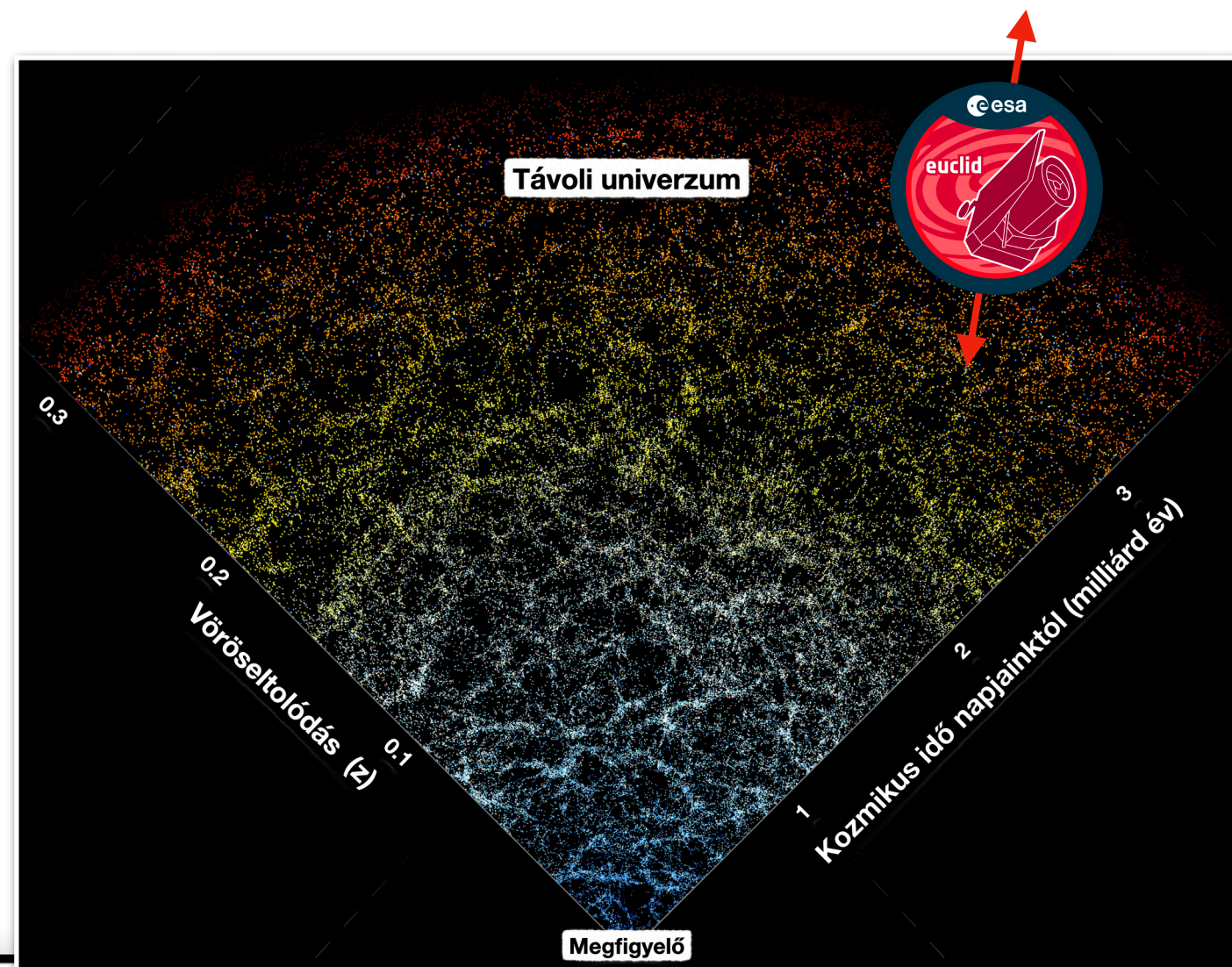
FTE in Research Tasks

FTE in Sci-Com

Total = 1.6

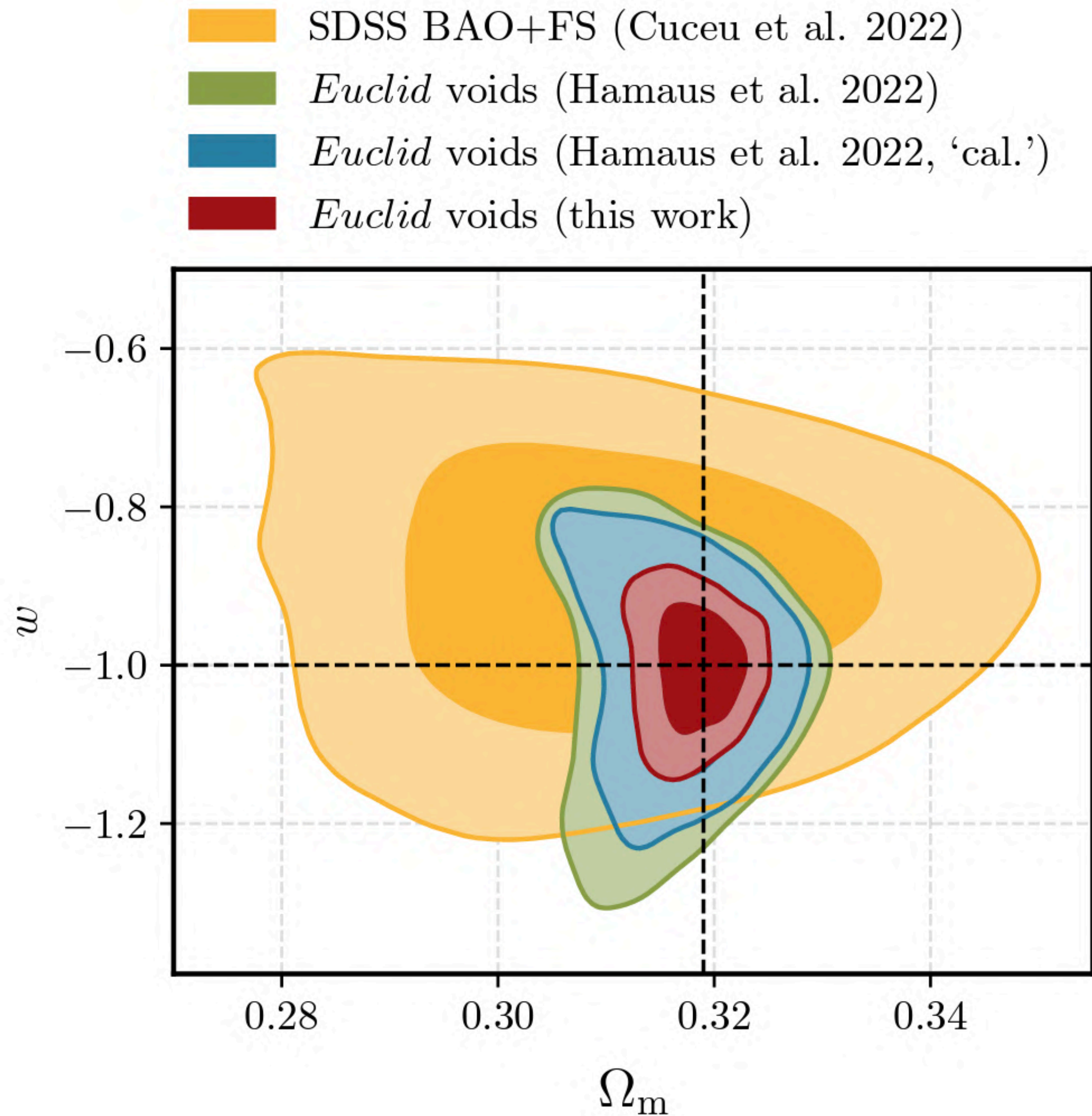
Total = 2.0

For 4 years



Várt eredmények

- A vizsgált távolságokon túl is megmérjük majd az anyag csomósodásának paramétereit



Várt eredmények

- A vizsgált távolságokon túl is megmérjük majd az anyag csomósodásának paramétereit
- A sötét energia esetleges időbeni változása is várhatóan detektálható lesz ($w=p/\rho$)

Összefoglalás

- Eseménydús időszakban járunk a kozmológiában, **anomáliákkal** tarkítva
- Euclid már a helyén, **tesztelés alatt** áll és már küldött adatokat
- Kb. **1000 kutató** várja az adatokat 6 éven át (ESA, NASA, CSA team)
- **Egymilliárd galaxis** alakjának statisztikus elemzéséből lehet majd (remélhetőleg) kitalálni, hogy milyen a **sötét univerzum** fizikája

