

3. félévi beszámoló

Matécsa Barbara (matecsa.barbara@csfk.org)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Csabai István (ELTE), Kovács András (CSFK)

A dolgozat címe: A kozmikus háló feltérképezése: a szimulációktól
a legmélyebb galaxis felmérésekig

Bevezetés

A kutatási téma leírása: A modern kozmológia egyik átfogó célja a kozmikus háttérsugárzás (CMB) anizotrópiákban látható apró sűrűségi fluktuációk rekonstruálása, és hogyan nőnek a bonyolult kozmikus hálózattá. A Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter) kozmológiai modell kiváló magyarázó erejét mutatta be a különböző kozmikus skálákon és korszakokban, és egy biztonságos történetet mesél el egy olyan univerzumból, amely jelenleg túlnyomórészt sötét anyaggal és sötét energiával van tele. Mégis, ez a magyarázat nem teljesen kielégítő, mert a sötét összetevők valódi természete továbbra is rejtély.

Ebben a doktori projektben azon dolgozom, hogy kifejlesszek új eszközöket a rejtélyes sötét energiakomponens megértéséhez a legmodernebb galaxis- és kvazár-adatkészletek felhasználásával. Megvizsgálom a szerkezet növekedési rátáját extrém környezetekben, ahol a QSO-k által nyomkövetett sűrűségi csúcsok találhatók, valamint a sötét és üres voidok területén. Különösen részletesen tanulmányozzuk, hogyan nyújtja ki a sötét energia a legnagyobb kozmikus szuperhalmazokat és a hatalmas kozmikus voidokat, mintegy 300 millió fényév terjedelemben, amely bizonyítékokat szolgáltat másodlagos forró és hideg foltok formájában a CMB hőmérséklet/lencse anizotrópia térképein.

Megfontolunk egy felmerülő új hipotézist is, miszerint a közelmúltban bejelentett kozmológiai anomáliák, amelyek a tágulás és a szerkezetenövekedés finom egyensúlyáról szólnak, magyarázhatók lennének, ha a Univerzum tágulása inhomogén lenne, szemben a koncordancia modell alapvető feltevésével.

A tervezett 4 éves program fő célja, döntő kereszt-korrelációs mérések végzése a szuperstruktúrák és a CMB között még nem feltárt, kulcsfontosságú vöröseltolódási tartományokban, ahol a sötét energia standard és alternatív modellei a legjelentősebben különböznek ($z > 1$). Az SDSS/BOSS, Pan-STARRS és DES felmérésekből származó előzetes eredmények az ELTE és a CSFK-val együttműködő kozmológiai kutatócsoportunkat erős pozícióba helyezik a tervezett új LSST-DESC, Euclid, J-PAS és WEAVE-QSO elemzések vezetéséhez. Ezekkel az új eszközökkel a kozmikus hálózatban megállapítjuk, hogy valamilyen eddig ismeretlen fizikai hatások vagy szisztematikus torzulások bonyolítják-e a képet. Akárhogyis lesz mindenképpen új ismereteket szerezünk az Univerzumból a legnagyobb skálákon.

A fő kutatási cél: Az MTA-CSFK Lendület Nagyskálás Szerkezet projekt keretében a következő három fő kozmológiai előtérhatás szimulált és megfigyelési jellemzésére fogok összpontosítani a CMB-ben, magas vöröseltolódású galaxis- és QSO-adatkészletek felhasználásával történő keresztkorrelációval. A legnagyobb kozmikus struktúrák felhasználásával ezek a kozmológiai hatások egyedülálló lehetőséget kínálnak mindhárom fő hatás tanulmányozására a kozmikus energia hatásában, különös tekintettel a legextrémebb kozmikus környezetekre:

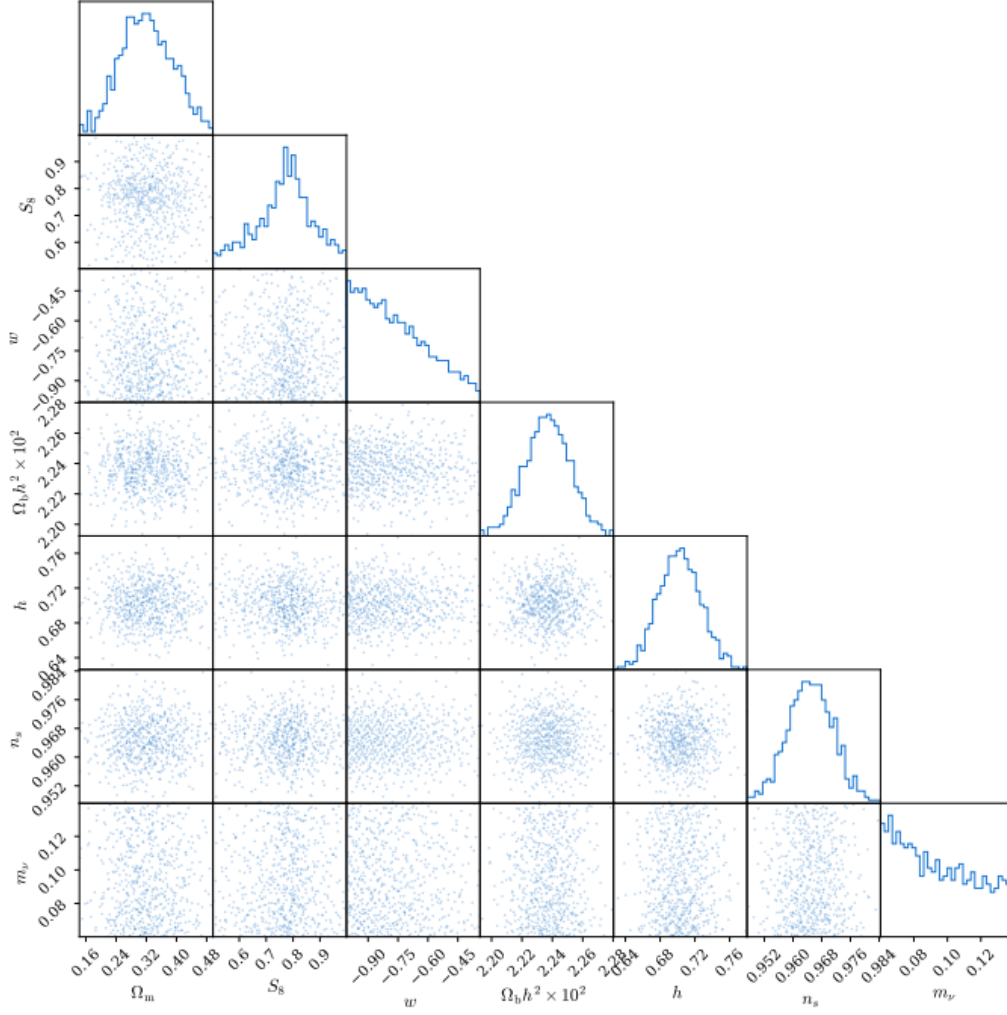
1. Gravitációs lencse hatás: többnyire a sötét anyag természetét vizsgálja nem Gaussi CMB térkép torzítások segítségével.
2. Integrált Sachs-Wolfe effektus (ISW): a sötét energia tulajdonságait vizsgálja a legnagyobb megfigyelhető skálákon a CMB-ben.
3. Termális Sunyaev-Zeldovich effektus (tSZ): a barionos gáz nyomását vizsgálja voidokban és halmazokban, asztrofizikai hatásokat tesztelve.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

Ebben a félévben a Gower Street szimulációkkal dolgoztam. Ez egy körülbelül 800 teljes égboltú n -test szimulációból álló sorozat, különböző kozmológiai paraméterekkel, amelyet a PKDGRAV3 kóddal állítottak elő. Mindegyik szimuláció hét kozmológiai paraméterre kapott saját értéket a ω CDM-en belül: $\Omega_m, \sigma_8, n_s, h, \Omega_b h^2, \omega, m_v$. (1. ábra)

A lightcone fájlokra, amit a Gower Street szimuláció biztosított egy 2D void kereső algoritmust futtatam. Ez úgy működik, hogy a void kereső, veszi a kivetített galaxistérképet és a megfelelő simított kontrasztterképet, és a voidokat alacsony sűrűségű körökként határozza meg, központjaik helyi minimumok a simított mezőben. Minden void sugarát az alapján határozzuk meg, amikor a void eléri az átlagos sűrűséget a külső héjában vagy ha az üreg belső része ($r < R_v/4$) meghaladja a $\delta = -0,8$ feltételt a vetületi hatásokkal korrigálva. A talált voidokat a végén elmenti egy fájlba, ami a következő adatokat tartalmazza: $RA(radians), Dec(radians), R_v(Mpc/h), Prob\delta(r < R_v), \delta(r < R_v/4)$. Ezen lightcone fájlok különböző vöröseltolódású tartományokra vannak osztva. (2. ábra)

Majd egy stacking kódot futtattam, ami ISW térképeket stackeli össze az általam a 2D void keresőből kapott katalógussal. Így megkapom az ISW hőmérséklet profilját. A cél az, hogy ezt minél több szimulációra lefutassam és meglássam, hogy megfigyelhető-e valami mintázat. (3. ábra)



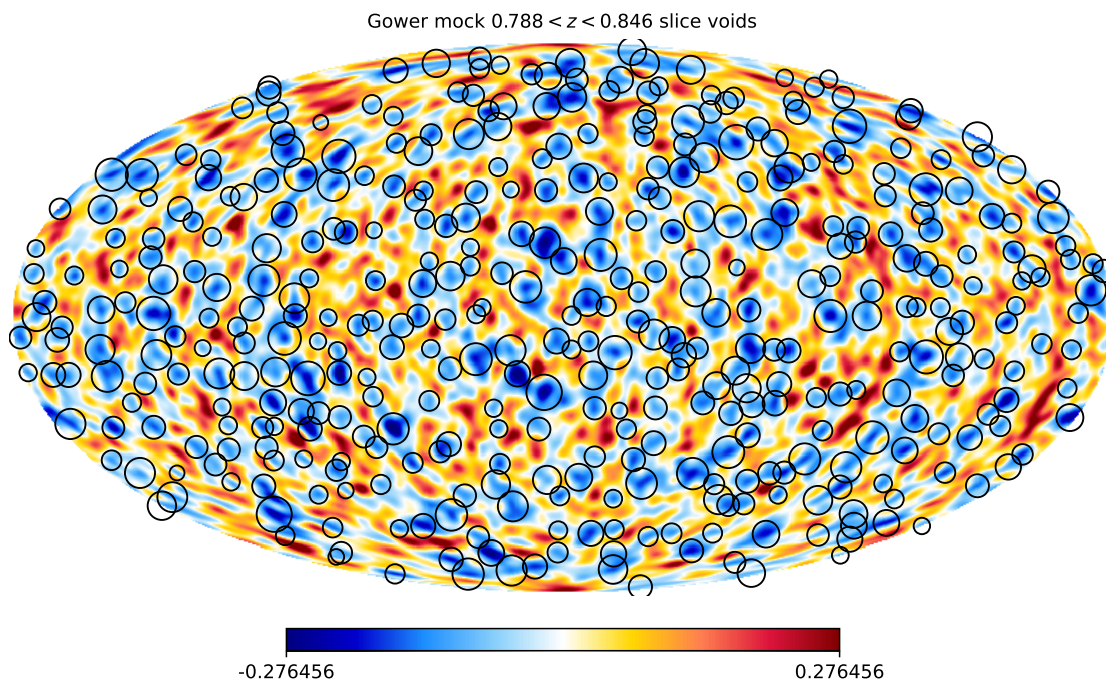
1. ábra. A Gower Street szimulációkban használt paraméterértékek. A kozmológiai paraméterek a $\nu\omega$ CDM modell variációit ölelik fel. (Jeffrey et al. 2024)

Kutatóút és workshopok az aktuális félévben

Szeptember 2-től 6-ig részt vettem az **IMPRS Heidelberg** nyári iskoláján Németországban, ahol a kozmológia különböző fontos részeiről tanultunk, mint például gravitációs lenszés, az univerzum nagy skálás szerkezete és gépi tanulás a kozmológiában.

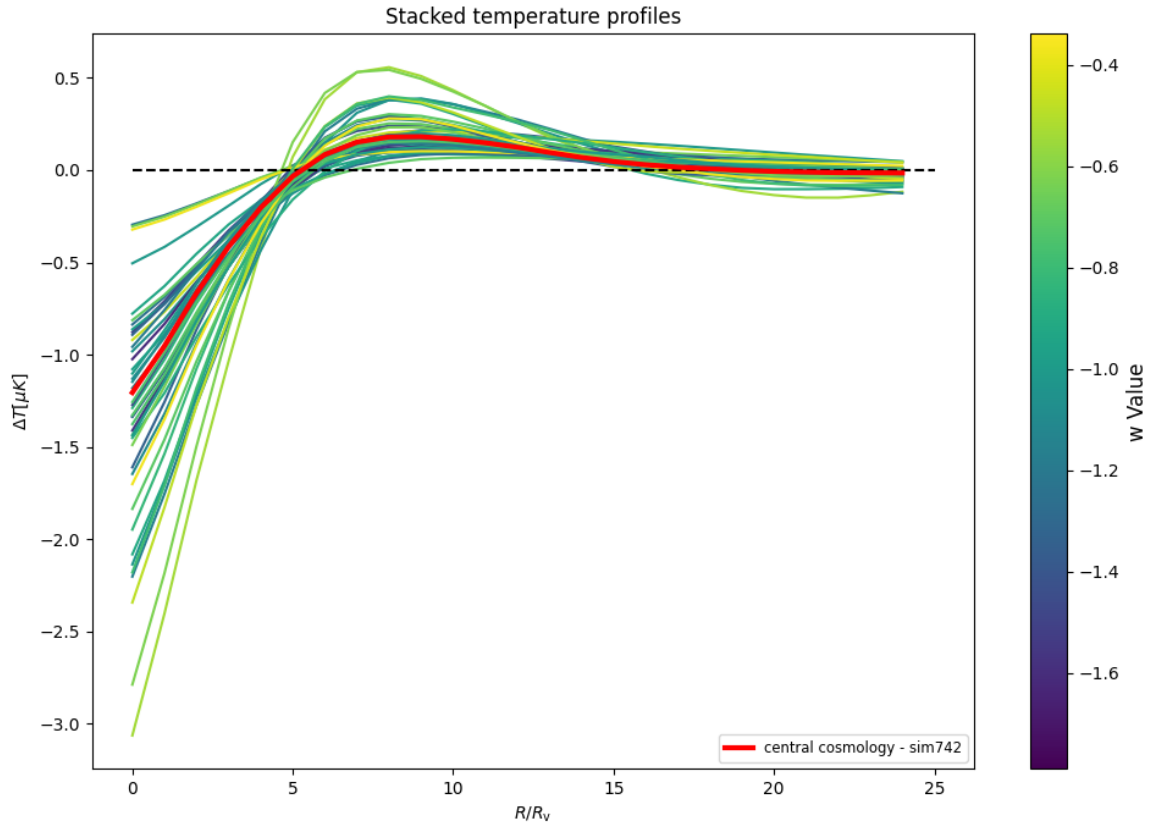
Ezután szeptember 8-tól október 8-ig egyhónapos **Erasmus+** úton vettem részt Tenerifén az **Instituto de Astrofísica de Canarias**-nál. Itt ugyan úgy voidokkal foglalkoztam de más effektust vizsgáltunk, a kinetikus Szunyaev-Zeldovich effektust (kSZ), ami a kozmikus mikrohullámú háttér sugárzás (CMB) spektrális torzulása a nagy energiájú elektronok inverz Compton-szórása révén galaxishalmazokban, amelyben az alacsony energiájú CMB fotonok átlagos energialöketet kapnak a nagy energiájú klaszter elektronjaival való ütközés során.

Az Agora szimuláció térképeivel dolgoztunk majd a szimulált galaxis katalógusra futtattam a REVOLVER void kereső kódot, amivel már előző félévben is dolgoztam. (4. ábra)



2. ábra. Egy példa 2D void finder-ből. Itt a $0.788 < z < 0.846$ vöröseltolódás tartományú lightcone fájlt vizsgáltam. Jól látható az ábrán, hogy az alacsonyabb sűrűségű (kék) részeket azonosította és jelölte (fekete karika) voidokként.

A munkát nem sikerült befejeznünk a Tenerifén töltött egy hónapos Erasmus+ utam során, de folytatjuk távolról is. Szükség esetén online telekonferenciákon tudjuk megbeszélni a felmerülő problémákat és eredményeket.



3. ábra. Különböző kozmológiájú hőmérséklet profilok a stacking kódból. A színskála a w értéket mutatja. Ez eddig körülbelül 50 szimuláció, de ennél még sokkal többre le szeretném futtatni. A piros profil a centrális kozmológiához tartozó érték, ez azt jelenti, hogy ennél a szimulációnál a kozmológiai paraméterek a sztandard (Planck) kozmológia értékeinek felelnek meg. Láthatjuk, hogy ehhez képest a többi profil hogyan változik.

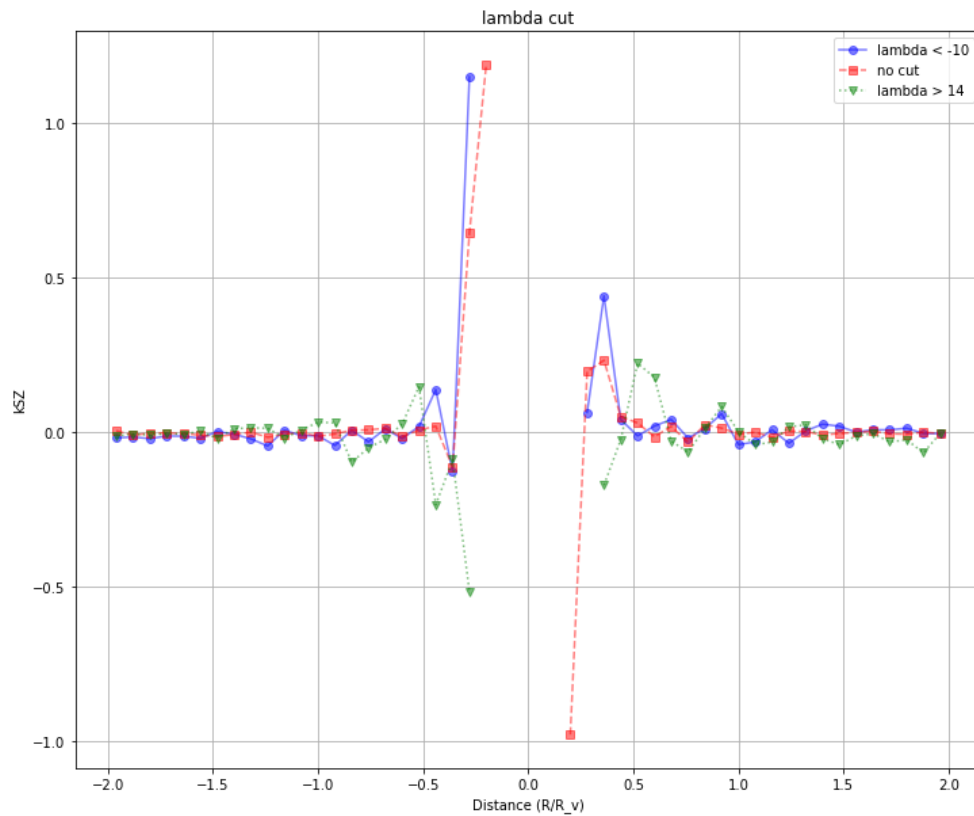
Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

A félév során az alábbi kurzusokon vettem részt:

- FIZ/5/017 Fejezetek a modern csillagászatból és kozmológiából
- FIZ/5/053 Fejezetek a modern égi mechanikából

Konferenciák az aktuális félévben

- Rendszeresen részt vettem a WEAVE-QSO online tele konferenciáin.
- A CosmoVerse online szemináriumain is részt vettem.
- Rendszeresen részt vettem a CSFK Csillagászati Intézetének szemináriumaim személyesen vagy online.
- Az egyetemen rendezett Ortvay-kollokvium előadásain is részt vettem.



4. ábra. kSZ jel az Agora szimulációt használva

Szakmai közéleti tevékenység

Előadtam a Csillagászati Intézetben megrendezett halloweeni programon. Illetve a nyári Perseus csillagkapus eseményeken is segédkeztem.