

4. félévi beszámoló

Pálfi Mária (marika97@student.elte.hu)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Dr. Raffai Péter

A dolgozat címe: Gravitációshullám-jelek alkalmazása a precíziós kozmológiában

Bevezetés

Doktori munkám középpontjában a Hubble-állandó gravitációs hullámokkal való meghatározása áll, mely segíthet feloldani a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásból és az Ia típusú szupernóvák megfigyeléseiből meghatározott Hubble-állandó értékek közötti ellentmondást (pl. [Riess et al. 2019](#)). A Hubble-állandó becslött értékét és bizonytalanságát a gravitációshullám-jelek méréséből származó hibákon kívül az analízishez használt galaxiskatalógus hiányossága és az abban található adatok hibái is befolyásolják. A galaxiskatalógusból eredő hibák tanulmányozásához szimulált galaxiskatalógusokat használunk, mivel az ezekben található mérési hiba nélküli adatokhoz kontrollált módon tetszőleges hibákat adhatunk hozzá.

Kompakt kettősök ütközéséből származó gravitációshullám-jelek segítségével a Λ CDM-től eltérő kozmológiák érvényességét is vizsgálhatjuk. A coasting kozmológiák (pl. [Casado, 2020](#)) családjába azok a modellek tartoznak, melyekben a skálafaktor időben lineárisan nő, ezekben rögzített görbület mellett csak a Hubble-állandó az illesztendő paraméter. Ehhez a munkához valós gravitációshullám-jeleket és a GLADE+ galaxiskatalógust használjuk.

[Artale et al. \(2019\)](#) vizsgálatai szerint a galaxisok csillagtömege korrelál a bennük található kompakt kettősök ütközési rátájával. A nagyobb csillagtömegű galaxisok nagyobb valószínűséggel forrásgalaxisai a kompakt kettősökből származó gravitációshullám-jeleknek, ez az információ felhasználható a kozmológiai analízis során. A galaxisok ezen paraméterének becslésével hozzájárulok a GLADE katalógus fejlesztéséhez.

Bekapcsolódtam egy olyan munkába, melyben azt vizsgáljuk, hogy hány ütközést szükséges észlelni ahhoz, hogy a megfigyelő mozgásából származó kozmikus dipólt gravitációs hullámok segítségével is ki lehessen mutatni, melyben főként a neutroncsillag-kettős ütközések szimulálásán dolgozom.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése

2021 nyarán csatlakoztam a LIGO kollaborációhoz, melynek kozmológia munkacsoportjában dolgozom a Hubble-állandó becslésén. A Hubble-állandó galaxiskatalógusokból származó hibáinak vizsgálatához az előző félévekben fejlesztői szinten elsajátítottam a gwcosmo programcsomag ([Gray et al. 2020](#)) használatát. Ez az egyik programcsomag, mellyel a kollaboráció meghatározza a Hubble-állandó értékét. Ezután a szimulált galaxiskatalógus és a szimulált gravitációshullám-jelek elkészítésével foglalkoztam. A Theoretical Astrophysical Observatory ([Bernyk et al. 2016](#)) segítségével galaxiskatalógusokat szimuláltam, valamint megtanultam a bilby és bilby_pipe csomagok ([Gregory et al. 2019](#), [Romero-Shaw et al. 2020](#)) használatát, melyek a kompakt kettősök paramétereit

nek meghatározására szolgálnak. A szimulált galaxiskatalógusból (a csillagtömeget figyelembe véve) forrásgalaxisokat választottam, a fekete lyuk kettősök egyéb paramétereit (tömeg, spin, inklináció...) a megfelelő prior eloszlásokból mintavételeztem, majd a bilby_pipe segítségével megkaptam a fekete lyuk kettősök paramétereinek Bayes-i poszterior eloszlásait.

Előző félévben csatlakoztam a LIGO kollaboráció kozmológia csoportjának Mock Data Challenge projektjéhez, melyben a kozmológiai analízishez használt csomagokat ellenőrizzük, valamint a szisztematikus hibák hatását szélesebb körben tanulmányozzuk. Ebben a projektben analíziseket fogok végezni a gwcosmo csomaggal, mikor elkészültek a gravitációshullám-jel szimulációk.

A coasting kozmológiák vizsgálatához elkészítettem a szükséges programcsomagot csomagot, mely a Λ CDM kozmológia helyett meghatározott geometriájú ($k = -1, 0, 1$) coasting modellt használ, majd ezekkel újrafuttattam a Hubble-állandó becslését a GLADE+ katalógus segítségével.

Mesterszakos kutatómunkám során galaxisok csillagtömegét meghatározó módszereket hasonlítottam össze, és az eredményeket felhasználtam a GLADE+ katalógus galaxisainak csillagtömegeinek meghatározásához. Doktori munkám során megírtuk a katalógust bemutató cikket, mely megjelent az MNRAS folyóiratban. A csillagtömegbecslő módszerek összehasonlításának eredményeit bemutató cikk írásával is foglalkoztam.

Az előző félévben kezdtem meg a munkát egy mesterszakos hallgatóval, melyben a kozmikus dipól gravitációs hullámokkal történő meghatározhatóságát vizsgáljuk.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

A Hubble-állandó galaxiskatalógusból származó szisztematikus hibáinak becsléséhez a fekete lyuk kettős ütközések szimulálásának módszerét javítottam a félév során. Beépítettem a szimulációba a jel-zaj arány meghatározását, hogy ki tudjam szűrni a kis jel-zaj arányú jeleket, melyeket a kollaboráció nem használna a Hubble-állandó meghatározásához.

A Mock Data Challenge projekt telekonferenciáin részt vettem, az analízis csoporttal, melynek tagja vagyok, még várjuk a szimulációt végző csoport eredményeit. Elkészült azonban a gwcosmo új változata, melynek használatát egy workshopon tanultam meg. Ezt a változatot fogjuk a Mock Data Challenge során tesztelni, illetve az O4-es megfigyelési időszak során használni.

A coasting kozmológiák vizsgálatához az ábrákat (1. és 2. ábrák) véglegesítettem, az eredményeket előadtam a kozmológia munkacsoport Testing Λ CDM alcsoportjának telekonferenciáján. A cikk írásán témavezetőmmel jelenleg is dolgozunk, a kész kéziratot a szeptemberi LIGO-Virgo-KAGRA kollaborációs találkozón tervezzük bemutatni a teljes kozmológia munkacsoportnak, majd – az esetleges javaslatok bedolgozása után – beküldjük a The Astrophysical Journal folyóiratba.

A GLADE katalógus legújabb változatához (UpGLADE) kerestem csillagtömegbecslési módszereket. A GLADE+ katalógushoz használt módszerek csak néhány magnitúdón alapultak, így nagy hibával tudtuk csak becsülni a csillagtömeget. Az új katalógusban viszont már a legtöbb galaxisra több magnitúdó is elérhető, így a galaxisok spektrális energiaeloszlását megillesztve pontosabb becslést kapok a csillagtömegekre (illetve megkaphatok más paramétereket is, mint például a csillagkeletkezési ráta, mely szintén korrelál a kompakt kettősök ütközési rátájával). A spektrális energiaeloszlást illesztő programok futási ideje azonban a legjobb esetekben is 1 perc/galaxis, az UpGLADE katalógus viszont kb. egymilliárd galaxist tartalmaz. Erre a problémára ad megoldást [Hahn & Melchior \(2022\)](#)

SEDflow nevű módszere, mely neurális hálók segítségével lerövidíti a futási időt 1 másodpercre galaxisonként. A félév során elkezdtem kidolgozni, hogyan lehet ezt a módszert az UpGLADE galaxisaira használni, így hamarosan el tudom indítani a csillagtömegbecslést. Ezeket az eredményeket beépítem a csillagtömegbecslési módszereket összehasonlító cikkbe.

A kozmikus dipól gravitációs hullámokkal való vizsgálatában a neutroncsillag kettősök ütközését szimuláltam, illetve a kapott chirp tömegeket ábrázoltam a távolság függvényében. Ezzel segítettem egy mesterszakos hallgatónak a szakdolgozatának elkészítésében. Ezt a munkát a jövőben is folytatni fogom.

Publikációk

G. Dály, ..., **M. Pálfi**, ... et al.: GLADE+: an extended galaxy catalogue for multimessenger searches with advanced gravitational-wave detectors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 514, Issue 1, July 2022, Pages 1403–1411

P. Raffai, **M. Pálfi**: Constraints on coasting cosmological models from gravitational wave standard sirens, előkészületben, a kész kéziratot a szeptemberi LVK meetingen tervezzük bemutatni a kozmológia munkacsoportnak.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

A félév során a következő kurzuson vettem részt:

- FIZ/5/025 Kompakt csillagok szerkezete

Konferenciák a képzés alatt

A képzés során a következő konferenciákon vettem részt:

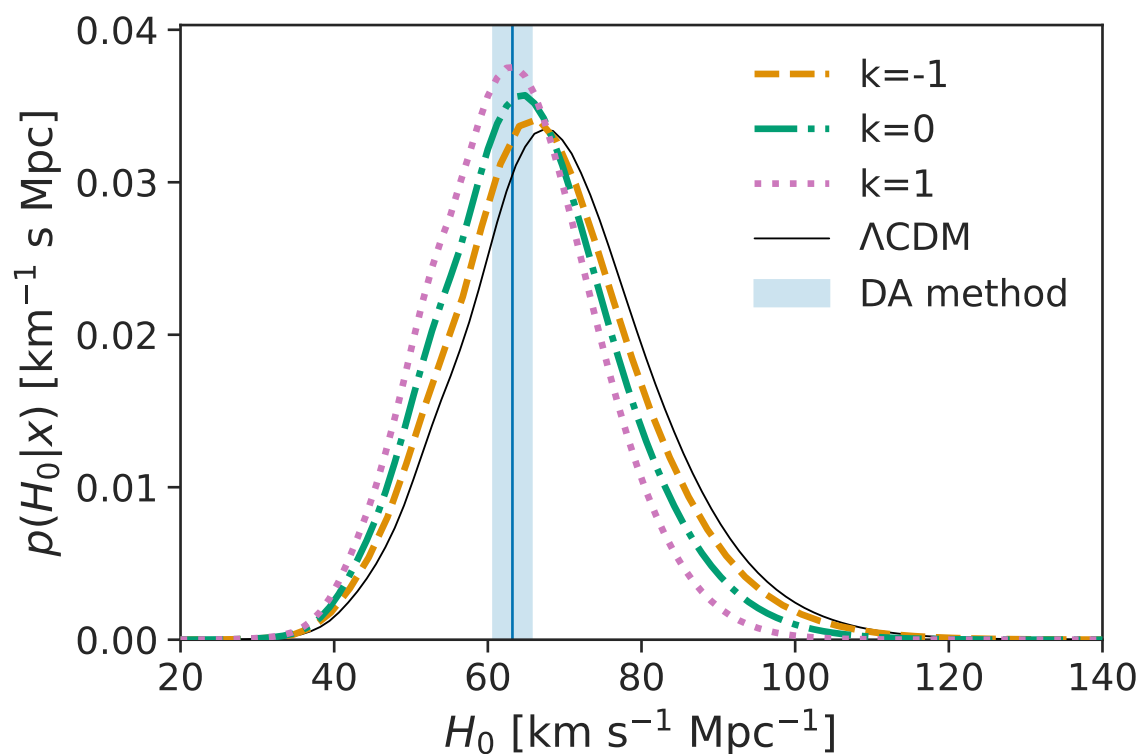
- 2021. 09. 06. – 2021. 09. 10.: LIGO Virgo KAGRA collaboration meeting, online
- 2022. 03. 14. – 2022. 03. 17.: LIGO Virgo KAGRA collaboration meeting, online
- 2022. 09. 12. – 2022. 09. 19.: LIGO Virgo KAGRA collaboration meeting, online
- 2023. 03. 13. – 2023. 03. 16.: LIGO Virgo KAGRA collaboration meeting, online

Oktatási tevékenység (összesítve)

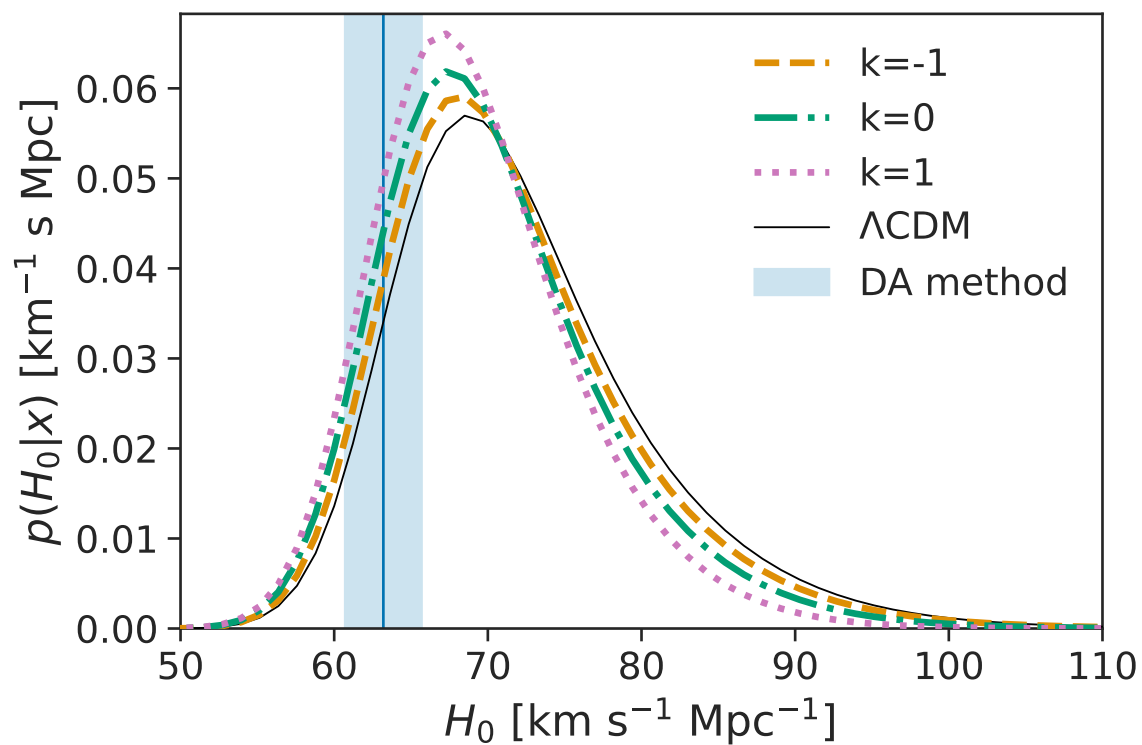
A páratlan félévekben a Bevezetés a csillagászatba tárgy házi feladatainak javításában segítettem (2 órás előadás), a páros félévekben pedig a Korszerű vizsgálati módszerek laboratórium Sugárvédelmi gyakorlatok nevű mérését vezettem (4 órás laborgyakorlat).

Hivatkozások

- Artale M. C., et al., MNRAS, 487, 1675 (2019)
- Bernyk, M., et al., ApJS 223, 9 (2016)
- Casado, J. Astrophys Space Sci 365, 16 (2020)
- Gray, R., et al., Phys. Rev. D 101, 122001 (2020)
- Gregory, A. et al., ApJS 241, 27 (2019)
- Hahn, C. & Melchior, P. ApJ 938, 11 (2022)
- Romero-Shaw, I. M. et al. MNRAS, 499, 3295 (2020)
- Riess, A. G., et al., ApJ 876, 1, 85 (2019)



1. ábra. A Hubble-állandó poszterior eloszlása különböző görbületi paraméterű coasting kozmológiák mellett 46 eseményt figyelembe véve, melyekre a jel-zaj arány nagyobb, mint 11. Ennél az analízisnél nem vettük figyelembe a GW170817 eseményt, melynek ismert a forrásgalaxisa. A DA sáv a kozmikus kronométerekkel meghatározott Hubble-állandó értékét mutatja, ezzel az értékkel várunk egyezést. Látható, hogy a poszterior eloszlások a coasting modellek esetén a kisebb H_0 értékek felé tolódnak, azonban a hibák nagyok.



2. ábra. A Hubble-állandó poszterior eloszlása különböző görbületi paraméterű coasting kozmológiák mellett mind a 47 eseményt figyelembe véve, melyekre a jel-zaj arány nagyobb, mint 11. A DA sávban mutatott értékkel várunk egyezést. Látható, hogy a poszterior eloszlások a coasting modellek esetén a kisebb H_0 értékek felé tolódnak.