

Az Einstein Teleszkóp magyarországi helyszínfelmérése és szeizmikus vizsgálata

PH.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Somlai László Ábel

Témavezető: Dr. Vasúth Máttyás Zsolt; Belső
témavezető Dr. Gál Tamás



2023

Pécsi Tudományegyetem, Fizika Doktori Iskola
Sokrészecskés rendszerek fizikája program

A kutatás előzményei és célkitűzés

Először 2016-ban detektáltunk gravitációs hullámot, amely a csillagászat egy új irányát nyitotta meg. Az első jel egy összeolvadó fekete lyuk párból érkezett, de az azóta eltelt időszakban sikerült neutroncsillag-összeolvadást is megfigyelni. A jelenleg az ún. második generációs gravitáció-hullám-detektorok korszakát éljük, ilyen például az európai Virgo, a két amerikai LIGO és a japán Kagra. Ezek körülbelül a 10Hz és 10kHz közötti jelekre érzékenyek. A jelenleg használt detektorok fejlesztése folyamatosan zajlik, de sajnos a berendezések infrastruktúrája limitálja ezt. Ilyen korlát például a detektorok karhossza vagy a detektorok elhelyezkedése. Ezért elkezdődött a következő generációs detektorok előkészítése, mint például az európai Einstein Teleszkópé (ET) is.

A harmadik generációs detektorok esetén – amilyen az ET is lenne – nagyjából egy nagyságrendű amplitúdóérzékenység-javulást várhatunk el, továbbá azt, hogy a frekvenciaérzékenységének alsó határa 1Hz legyen. Ezeknek hála, az összeolvadó kettősök jelét akár napokkal korábban is tudnánk detektálni[1]. Ennek elsődleges korlátja

a newtoni zaj, amely nem más mint a tükröket körülvevő földrétegek sűrűségének időbeli változása által okozott gravitációs hatás[2].

Az ET az eddigi elképzelések alapján egy 10km oldalhosszú, háromszög alakú detektor lenne, azaz az interferométerek 120° -os szöget zárnának be egymással, továbbá a föld alatt helyeznék el. A második feltételnek különösen nagy jelentősége van, mivel ennek segítségével érhetjük el a kívánt frekvenciaérzékenységet, azaz csökkenthetjük a newtoni zaj hatását.

Dolgozatomban az ET első felmérésénél előkerülő – mint korábbi potenciális – helyszín szeizmikus elemnézést vittem tovább, amely lehetőséget adott a hosszútávú helyszínelmérésre, és így valós adatok alapján az összeolvadó neutroncsillagok korai észlelésének vizsgálatára.

A kutatás összefoglalója

Az ET esetén már a 2010-es évek előtt elindult egy egész Európát átfogó helyszínelmérés. Az itt végzett, rövidtávú szeizmikus felmérést a magyar helyszín, elsősorban a Wig-

ner Fizikai Kutatóközpont által életre hívott Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium (MGGL) vitte tovább, és közel 2 évnyi adatot gyűjtött be. Kutatásom során elsősorban az itt mért szeizmikai adatokat dolgoztam fel és értékeltem ki azért, hogy a magyar, mint volt potenciális helyszín felmérését elvégezzem [T2-T3].

A helyszínfelmérés során az eredményeimet összevettem a korábbi mérésekkel, továbbá új mennyiségeket és kiértékelési módszereket ajánlottam a lehetséges helyszínek összevetésére. Ilyen új mennyiség volt a két új *rms* érték, amellyel így nemcsak a $2Hz$ -nél nagyobb zajokat mérő kumulatív mennyiséget kapunk, hanem a kívánt frekvenciatartományhoz jobban illeszkedő is. Javaslatot tettem továbbá új mérési módszerek bevezetésére, mint például a köztes átlagolás, amely nemcsak felgyorsítja a hosszabb távú kiértékeléseket, hanem általa könnyebben értelmezhetőek a hosszabb időtávú eredmények. Ráműtattam arra, hogy célravezetőbb a percentilisek használata az összevetések során, mint a leggyakoribb érték [T1].

Végezetül a neutroncsillagok megfigyelhetőségeit vizsgáltam és fontos mennyiségeket vezettem be, amik nélkü-

lözhetetlenek lehetnek a helyszínek pontos összevetésénél. Egyszerű forrásjeleket vizsgáltam a korai detektálhatóság mérésére. Ez egyrészt nem annyira érzékeny a spontán zajokra, másrészt az egységes newtoni zajmodellt és fel-függesztést használva, könnyen összehasonlíthatóvá teszi a különböző helyszíneket¹ keretei között bővítettem, amelyben a teljes, kétéves időszakot vizsgáltam a $-88m$ mélyen lévő állomás adatai alapján [T4].

Bízom abban, hogy az ET építése hamarosan elkezdődik, így a gravitációs hullámok megfigyelése egy új korszakba léphet és remélem, hogy a munkám segítheti ennek megvalósulását.

Eredmények

A dolgozatomban bemutatott tudományos eredményeket az alábbi négy tézispontban foglalom össze.

1. A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumban mért, közel kétéves szeizmikus adatokat dolgoztam

¹Ezt egy sikeresen elnyert Új Nemzeti Kiválóság Program

fel. A kiértékelés során elsősorban az eddigi, az Einstein Teleszkópot előkészítő közösség által már elfogadott eljárásokat követtem és javasolt mennyiségeket számoltam ki. Ez egy egyedi helyzet volt, mert csak a magyarországi helyszín esetén történt meg egyedül hosszabb távú adatgyűjtés. Az eredményeimet a [T1]-ben és [T3]-ban publikáltam.

2. Új mennyiségeket és feldolgozási metódusokat dolgoztam ki és javasoltam, amik segítségével jobban összemérhetőek lesznek az Einstein Teleszkóp potenciális helyszínei. Fontosnak tartottam, hogy a hosszabb távú kiértékelések során a rendelkezésre álló adatokból a lehető legtöbb információt tudjuk kinyerni. Ehhez elengedhetetlennek véltem olyan feldolgozó eljárást megalkotni, amely megkönnyíti a helyszínek összevetését, és azokról minél pontosabb képet ad. Segítséget nyújthatnak továbbá a kiértékelések során az általam bevezetett rövidtávú és köztes átlagolások, amelyekkel a legfontosabb gravitációs hullámformákhoz igazított kiértékelés is könnyen és gyorsan elvégezhető nagy mennyiségű szeizmikus

adattal. Az általam bevezetett kumulatív mennyiség – amely más frekvenciatartományon van értelmezve – lehetőséget adott évszakos változások megfigyelésére is, amiket e nélkül nem tudtam volna kimutatni. Eredményeimet a közösségben rendszeresen ismerttettem szakmai konferenciákon, ennek köszönhetően a terület jeles kutatóival volt lehetőségem együtt dolgozni. A tézisponthoz tartozó releváns publikációk: [T1] és [T2]

3. Vizsgáltam a mátrai helyszín esetén a leendő gravitációshullám-detektor érzékenységi görbáját alacsony frekvenciákon. Becsültem newtoni zajt a helyszínnél mérhető szeizmikus zajok alapján, elsősorban az általam bevezetett kiértékelési módszer segítségével. Ehhez egy, a szakirodalomban elérhető newtoni zajmodellt használtam, továbbá a Kagra gravitációshullám-detektor felfüggesztésének átviteli függvényét. Ennek segítségével megadható a tervezett, 10km karhosszú, Einstein Teleszkóp becsült érzékenységi görbéje alacsony frekvenciákon. Hozzá kapcsolódó publikációim: [T2], [T4].

4. Végezetül vizsgáltam a neutroncsillagok korai megfigyelhetőségét a becsült időfüggő felfüggesztési görbék segítségével. Ehhez már korábban is detektált, összeolvadó kettősök által keltett, gravitációshullámprofilokat számoltam ki. A számolt hullámformák esetén figyeltem arra, hogy az összeolvadó kettősök tömegei úgy legyenek megválasztva, hogy az általuk keltett jel megfelelően rövid legyen. Erre azért volt szükség, hogy az alacsony frekvenciás tartományban a kéthetes mérési időszakokkal összevethető eredményeket kapjak. Az ehhez kapcsolódó publikációm: [T4].

Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk

[T1]L. Á. Somlai et al. "Seismic noise measures for underground gravitational wave detectors", *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54(2):301–313; doi: 10.1007/s40328-019-00257-5

[T2]P. Ván et al., "Long term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory", *Eur.*

Phys. J. Spec. Top., **228**, 1693–1743 p. (2019); doi:
10.1140/epjst/e2019-900153-1

[**T3**]G. G. Barnaföldi et al., "First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Mátra mountain range", Class. Quant. Grav., Vol. 34, No. 11 (2017); doi: 10.1088/1361-6382/aa69e3

[**T4**]L. Á. Somlai, "Low frequency detectability of gravitational waves at Mátra mountains", VIII. INTERDISCIPLINÁRIS DOKTORANDUSZ KONFERENCIA 2019 - TANULMÁNYKÖTET, 8th INTERDISCIPLINARY DOCTORAL CONFERENCE 2019 - CONFERENCE BOOK (B. Csiszár (Szerkesztő),F. Bódog (Szerkesztő),E. Mező (Szerkesztő), B. Závodi (Szerkesztő)), Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat (2019)

További saját publikációk

[**P1**]L. Á. Somlai et al, "Silence measurements and measures for ET: characterisation of long term seismic noise in the Mátra Mountains", arXiv:1804.07200 (2018); doi: 10.48550/arXiv.1804.07200

[P2]L. Á. Somlai and M. Vasúth, "The effect of the cosmological constant on a quadrupole signal in the linearized approximation", International Journal of Modern Physics D, Vol. 27, No. 02, 1850004 (2018); doi: 10.1142/S0218271818500049

[P3]E. Cs. Debreceni and L. Á. Somlai, "Az MGGL laboratórium szeizmikus zajforrásainak vizsgálata", Mérnökgeológia Kőzetmechanika sorozat, 33–47 p. (2018); ISBN:978-615-5086-11-3

[P4]P. Kicsiny, L. Á. Somlai and Z. Zimborás, "Analysis of the MGGL seismic data by noise-filtered Fourier transform method", Mérnökgeológia Kőzetmechanika sorozat, 47–52. p. (2018); ISBN:978-615-5086-11-3

[P5]F. Amann et al., "Site-selection criteria for the Einstein Telescope", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 91 : 9 Paper: 094504 , 20 p. (2020); doi: 10.1063/5.0018414

Hivatkozások

[1] ET Science Team, "Einstein gravitational wave Telescope, Conceptual Design Study" (2011).

[2] Scott A. Hughes and Kip S. Thorne, "Seismic gravity-gradient noise in interferometric gravitational-wave detectors", Phys. Rev. D, 58:122002 (1998).