

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Interferometrikus gravitációshullám-detektorok
infrahangzajhátterének vizsgálata**

Fenyvesi Edit

Témavezetők: Dr. Trócsányi Zoltán
Dr. Molnár József



DEBRECENI EGYETEM
Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2021

Készült
a Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának
Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban programja keretében
az Atommagkutató Intézetben (Debrecen)
és a Wigner Fizikai Kutatóközpontban (Budapest)

A disszertáció az alábbi projektek támogatásával készült el:
a Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Hivatal NKFIH K124366 projektje,
a GINOP-2.2.1-15-2016-00012 számú projekt, mely az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap és Magyarország Kormánya társfinanszírozásával a Széchenyi 2020 program keretében valósult meg.

ELŐZMÉNYEK

Az első gravitációshullám-jelet az Amerikai Egyesült Államok LIGO obszervatóriumának két detektora (Hanford, Washington és Livingston, Louisiana) észlelte 2014-ben. 2017 óta az olaszországi Virgo detektor is alkalmas a jelek detektálására. 2019 augusztusára összesen 50 bizonyítottan gravitációshullám-eseményt sikerült már megfigyelni.

Mindhárom detektor esetén az áthaladó gravitációs hullámok a tesztömegek relatív elmozdulását eredményezik, amit lézinterferometrikus módszerekkel mutatnak ki. A méréseket minden más olyan környezeti hatás is befolyásolhatja, ami megváltoztatja a tesztömegek környezetében a tömegsűrűség eloszlását. Ilyenek például a szeizmikus rezgések.

Nemkívánatos relatív elmozdulásokat kelthetnek az infrahangok is, hiszen közvetlenül mozgathatják a detektorok bizonyos komponenseit. Másrészt a levegőben és más közegekben terjedő nyomáshullámok által okozott sűrűségváltozások fluktuációkat keltenek a környező gravitációs térben is, amelyek a tesztömegek elmozdulását eredményezik. Ez a zajtípus a gravitációs gradiens zaj és newtoni zaj néven vált ismertté. Az elméleti jóslatok szerint a newtoni zaj fogja megakadályozni a LIGO és a Virgo detektorok mérési tartományának egy adott alsó határfrekvencia alá történő kiterjesztését.

A newtoni zaj szempontjából a levegő rezgései közül a 20 Hz alatti frekvenciatartományhoz tartozó infrahangok a relevánsak. Az ellenük való védekezés érdekében olyan helyre kell telepíteni a detektorokat, ahol a háttérzaj a lehetőségekhez képest minimálisra csökkenthető. Az infrahangháttérzaj vizsgálatahoz olyan mérőeszközök szükségesek,

melyek saját zaja elegendően alacsony, valamint megfelelő az érzékenységük és a dinamikai tartományuk is.

A LIGO detektoroknál a magyar Eötvös Gravity Research Group a saját eszközeivel végzett mérései alapján határozta meg a detektorok környezetének infrahangzajhátterét. Az adVirgo kollaboráció az interferométerüknek otthont adó épületen belüli zajhátter 10 Hz fölé eső tartományát vizsgálta részletesen, és azt tapasztalták, hogy az épületben működő fűtési-, klimatizáló- és a vákuumrendszert magában foglaló HVAC rendszer a zaj fő forrása.

Az infrahangok által keltett newtoni zajra vonatkozó első kutatások a LIGO detektornál folytak. Az akkor megalkotott modell továbbfejlesztett változatával a tesztömegekre ható newtoni zaj az épületen belüli és az épületen kívüli infrahangok amplitúdó spektrális sűrűség-spektruma és a detektornak otthont adó épületek alakja alapján határozható meg.

A gravitációshullám-detektorok földfelszín alá telepítése és kriogenikusan hűtött tesztömegek alkalmazása lehetőséget ad a mérési tartomány alacsony gravitációshullám-frekvenciák felé történő kiterjesztésére. Mintegy 100 méterrel a felszín alatt a környezeti zajok intenzitása és a newtoni zaj várhatóan több nagyságrenddel kisebbek, mint a földfelszínen.

A földfelszín alá telepítendő egyik javasolt gravitációshullám-detektor az Einstein Teleszkóp, amelynek több európai telepítési helyszínt is javasoltak már. Közülük több helyszínen is vizsgálták már a szeizmikus zajhátteret Európa szerte. A magyarországi Mátra-hegység a három legalkalmasabb helyszín egyikének bizonyult.

A Mátra-hegységben levő javasolt terület keleti oldalának közelében hozta létre a Wigner Fizikai Kutatóközpont a Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumot (MGGL) az egykori gyöngyösorszi ércbányában Károlytáró közelében. A földalatti laboratóriumban a szeizmikus, infrahang- és elektromágneses zajkörnyezet hosszabb távú folyamatos vizsgálata folyik annak érdekében, hogy fel lehessen tární a földfelszín alá történő telepítés helyszíntől független előnyeit is [PhDJ01], [PhDJ02].

2014-ben az Atommagkutató Intézet (Atomki) Elektronika Laboratóriuma tagjaként kapcsolódtam be a gravitációshullámdetektorok működését is befolyásoló környezeti infrahangzajok vizsgálatába. Részt vettem az Eötvös Gravity Research Group által korábban megalkotott és az Atomki által karbantartott és később továbbfejlesztett, a LIGO környezetmonitorozó rendszerébe integrált infrahangmikrofo-nok jeleinek vizsgálatában.

Amikor megalakult az MGGL köré szerveződő kutatócsoport, az Atomki is csatlakozott hozzá. Azt követően kezdődött meg az Atomkiban a földfelszín alatti mérések követelményeit kielégítő új típusú infrahang mikrofon (ISM1) kifejlesztése a témavezetőm, Dr. Molnár József irányításával. Az eszköz elektronikai és mechanikai komponenseinek tervezését és kivitelezését Dr. Czellar Sándor végezte el. Az ISM1 a 0.01-10 Hz frekvenciatartományra érzékeny.

CÉLKITŰZÉSEK

Az Atomki Elektronikai Laboratórium munkatársaként részt vettem az ISM1 infrahangmikrofon jeleit digitalizáló adatgyűjtő egység kifejlesztésében. Az én feladatomból volt az ISM1 mikrofonnal történő terepi mérések megtervezése és kivitelezése valamint a mért adatok feldolgozása és értelmezése egyaránt. A munkám során az alábbi célokat tűztem ki:

- módszerek kidolgozása az ISM1 mikrofonra alapozott mérőrendszer által mért adatok feldolgozására és kiértékelésére és a szükséges szoftverek elkészítése,
- az ISM1 mikrofon kalibrációja,
- terepi mérések végzése az MGGL-ben a föld alatt és a környezetében a földfelszínen is az infrahangzajhátterek tanulmányozása céljából,
- a mért adatok feldolgozása és értelmezése,
- következtetések levonása az Atomki által kifejlesztett mérőrendszerre vonatkozóan,
- az MGGL-ben és a környezetében mért infrahangzaj összehasonlítása a LIGO és az adVirgo gravitációshullám-detektoroknál mért infrahangzajokkal,
- következtetések levonása az Einstein Teleszkóp lehetséges magyarországi földfelszín alatti telepítési helyszíne esetén várható természetes eredetű infrahangzajhátterre,

- becslés megtétele az infrahagzajhátter okozta newtoni zaj járulékára vonatkozóan az Einstein Teleszkóp Mátra-hegységbeli telepítésének esetére.

A feladatok végrehajtása során az elvégzett műszaki fejlesztéseken túl a földtudományok és a fizika határterületén születtek új interdiszciplináris tudományos eredmények, melyek egy része a saját eredményem.

A kutatásokat elsősorban az Einstein Teleszkóp telepítési helyszínének kiválasztása és a projekt megvalósíthatóságának vizsgálata motiválta. Ily módon az elért új eredmények közvetve segíthetik a gravitációkutatást is hosszú távon.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az ISM1 mikrofonra alapozott mérőrendszer kalibrációját a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet (CSFK GGI) Piskéztetői Observatórium 3-as számú infrahang mérőállomásán (PSZI3) végeztem el [PhDJ03].

2016-ban kezdtem meg az infrahangméréseket az MGGL-ben az ISM1 mikrofont tartalmazó mérőrendszer használatával. Az MGGL köré szerveződött kutatócsoport a társszerzőségemmel publikált első közleményeiben bemutatta a laboratóriumot, ismertette a kutatások hosszú távú célkitűzéseit, az első mérési eredményeket, valamint azok tanulságait. A közlemények egy-egy alfejezetében én ismertettem az első infrahangzajhátter mérések eredményeit [PhDJ01], [PhDJ02].

Az MGGL-ben elvégzett hosszú távú környezeti zajméréseink eredményeit ismertető közös publikációban én készítettem el az infrahangnak szentelt, és a saját méréseimet is bemutató alfejezetet [PhDJ03]. Bemutattam az infrahangmérő rendszerünket és a módszert, amivel a mikrofont kalibráltam. Ismertettem az MGGL-ben mért infrahangzajhátér hosszú távú idősorát jellemző statisztikai mennyiségeket, az amplitúdó spektrális sűrűség-spektrumok (ASD) adott frekvencián vett értékeinek mediánját és az ötödik és kilencvenötödik percentiliseit.

Az MGGL-nek otthont adó bányában időről-időre rekultivációs tevékenység zajlott. Ezért meg kellett találnom azt, hogy milyen zajok erednek a bányászati tevékenységektől és a bányában üzemelő berendezésektől. Azonosítottam a munkálatok és a berendezések zajától legkevésbé szennyezett időszakokat és kiszámoltam az akkor mért infrahanghátterzaj jellemzőit. Erre a célra kifejlesztettem egy szoftveres eljárást (és Python nyelven implementáltam azt). A kapott eredményeimet nemzetközileg referált, impakt faktoros és első szerzős tudományos közleményben ismertettem [PhDJ04].

Az adVirgo gravitációshullám-detektor infrahanghátterzaja vizsgálatához is kifejlesztett az Atomki egy infrahangmikrofont (ISM1801). Az új típusú mikrofon 30 Hz-ig kiterjesztett mérési tartománnyal rendelkezik igazodva az adVirgo detektor gravitációs hullám detektálási frekvencia-tartományához. 2019-ben telepítettem az ISM1801 mikrofont az adVirgo detektor központi épületében (Central Building, röviden: CEB). A mikrofon folyamatosan és megbízhatóan szolgáltatja a mérési adatokat a 2019. március – 2020. április közötti időtartamban folyó harmadik megfigyelési időszakban mindvégig. Ezért be tudtam azonosítani az infrahanghátteret

meghatározó zajforrásokat és megvizsgáltam azok hatását a háttérzajt jellemző ASD értékekre.

Lehetőségem nyílt becslést adni a majdani Einstein Teleszkóp infrahang eredetű newtoni zajára a Mátrában történő telepítés esetén. Ehhez az infrahangzaj hosszú távú viselkedésének megismerése érdekében a CSFK GGI piszkéstartói infrahangmérő állomásainak egy év alatt gyűjtött adatait használtam fel, majd az ezekből nyert medián nyomás ASD értékekből számoltam ki a newtoni zajt egy, a szakirodalomban (D. Fiorucci et al., Physical Review D 97, 062003, 2018) nemrég ismertetett modellt alkalmazásával.

Az MGGL-beli hosszú távú méréseinkben szerzett tapasztalataimmal hozzájárultam az Einstein Teleszkóp megvalósításának előkészítéséhez [PhDJ05].

Az interferometrikus gravitációshullám-detektorok infrahang zajhátterének vizsgálata területén végzett kutatásaimmal nyert új műszaki és tudományos eredményeket 3 tézispontban foglalom össze.

1. tézispont

Az Atommagkutató Intézetben kifejlesztett új típusú ISM1 infrahangmikrofon ASD – hangnyomás ASD átviteli függvényének meghatározása

Részt vettem a Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumba szánt ISM1 infrahang mikrofon tervezésében és a hozzá kapcsolódó mérőrendszer komponenseinek kiválasztásában [PhDJ01], [PhDJ02]. Megterveztem a mikrofon kalibrációjának módszerét [PhDJ03], végrehajtottam a kalibrációhoz szükséges méréseket, valamint elkészítettem az adatok feldolgozására szolgáló szoftvert [PhDS01] is.

Végül ennek segítségével meghatároztam azt az átviteli függvényt, ami az ISM1 által mért jel digitalizált verziójából számolt, ADC egységekben megadott ASD-t hangnyomás ASD-vé alakítja át.

2. tézispont

Szoftveres eljárás kifejlesztése az MGGL-ben végzett hosszú távú infrahangzaj-mérések adatainak feldolgozására

Kifejlesztettem egy szoftveres eljárást, amivel az MGGL-ben az ISM1 mikrofonnal végzett hosszú távú infrahangzaj mérések adatait dolgoztam fel. A szoftver [PhDS02] különválogatja azokat az adatszegmenseket, amelyek kiugró (tranziens) jelszakaszokat tartalmaznak és azokat, amelyek a stacionárius háttérzajhoz tartoznak. A szignifikáns tranziens zajimpulzusok azonosítása egy, a diszkrét Haar-transzformáción alapuló módszerrel történik. A szoftver a tranziensektől mentes zajszegmensekből kiszámolja a hozzájuk tartozó ASD értékeket. Ezután kiszámolja egy adott, több szegmenst is magában foglaló infrahanghátérzaj-szakasz jellemzésére a különféle szegmensekhez tartozó nyomás ASD értékek adott frekvenciához tartozó mediánját. Végül megadja az ASD értékek terjedelmének jellemzésére és ötödik (vagy tizedik) és kilencvenötödik (vagy kilencvenedik) percentilis értékeket [PhDJ04].

3. tézispont

A természetes eredetű infrahangzajhátér amplitudó spektrális sűrűsége frekvencia függésének kimérése az Einstein Teleszkóp korábban javasolt magyarországi földfelszín alatti helyszínére vonatkozóan.

Elsőként végeztem infrahangzajhátter méréseket az Einstein Teleszkóp korábban javasolt magyarországi telepítési helyszínének közelében. A méréseket az MGGL-ben végeztem el, mely hozzávetőleg az Einstein Teleszkóp tervezett telepítési mélységében lett kialakítva. Az ISM1 infrahang mikrofont és a hozzá tartozó adatgyűjtő rendszert használtam. Egy kiválasztott kéthetes mérési időszak adatait dolgoztam fel a célra kifejlesztett szoftveremmel [PhDS02]. Először megkerestem a tranziens jelszakaszokat. A tranziensek amplitúdója és gyakorisága alapján megállapítottam, hogy azok a bányában folyó tevékenységektől származnak, és nem vehetők figyelembe az Einstein Teleszkóp lehetséges helyszíne természetes infrahangzaj háttérének jellemzése szempontjából.

Megmértem az infrahangzajhátteret egy olyan időszakban is, amikor szüneteltek a bányászati tevékenységek a bányában. Megmutattam, hogy az infrahangzaj háttérhez legnagyobb mértékben a bánya szellőzőrendszere járul hozzá [PhDJ04]. A szellőzőrendszer lekapcsolása után mért spektrum már az Einstein Teleszkóp korábban javasolt magyarországi földfelszín alatti helyszínére vonatkozó természetes eredetű infrahangzajhátternek tekinthető.

A eredmény jól egyezik a földfelszínen mérhető átlagos infrangzajhátteret leíró Bowman-modellek alapján az MGGL-re becsült háttérrel [PhDJ04].

Az eredményt összehasonlítottam a működő földfelszíni gravitációshullám-detektoroknál (LIGO, adVirgo) továbbá az Einstein Teleszkóp egy másik lehetséges telepítési helyszínén (Sos Ennatos bánya, Szardínia, Olaszország) mért és az irodalomban publikált infrahangzajhátterekkel is. Az összehasonlítás alátámasztja a magyarországi Mátra-hegységben levő javasolt helyszín alkalmasságát az Einstein Teleszkóp telepítésére.

Az MGGL-ben végzett méréseim alapján elsőként adtam becslést az infrahangok okozta newtoni zaj járulék mértékére és frekvenciafüggésére az Einstein Teleszkóp korábban javasolt magyarországi telepítési helyszínére vonatkozóan [PhDJ04].

Megbecsültem a helyszínre vonatkozóan a newtoni zajok várható intenzitását és frekvenciafüggését a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet Pizskéstető Observatórium földfelszíni infrahangmérő állomásai által mért és a <http://eida.gfz-potsdam.de/webdc3/> adatbázisban publikált nyilvános adatok alapján is. A feldolgozásához egy szoftvert fejlesztettem ki [PhDS03]. Az eredmények jelzik, hogy a természetes eredetű földfelszíni infrahagzajhátter okozta várható medián newtoni zaj az Einstein Teleszkóp tervezett telepítési mélységében is függ a napszaktól és az évszaktól is.

Az MGGL-ben és az adVirgonál végzett méréseim is megmutatták, hogy a természetes és mesterséges eredetű légáramlatok jelentősen befolyásolhatják a gravitációshullám-detektorok infrahanghátterét és azon keresztül a newtoni zaját is. Az adVirgo esetén kimutattam, hogy a központi épületében mért infrahanghátterzajt jellemző nyomás ASD értékeket 2 Hz alatt a szél határozza meg, 2 Hz fölött azonban a vákuumrendszer szivattyúit valamint a szellőző- és légkondicionáló rendszereket magában foglaló HVAC rendszer. (Az általam fejlesztett szoftverrel [PhDS04] dolgoztam fel az ISM1801 mikrofon adVirgonál mért adatait.) Az MGGL-ben és az adVirgonál a légáramlatok szerepére kapott eredményeim segítik az Einstein Teleszkóp helyszínével és alagútrendszerével kapcsolatos elvárások specifikálását is [PhDJ05]. Az eredményeim alátámasztják azt is, hogy valóban előnyös egy interferometrikus gravitációshullám-detektor földfelszín alá történő telepítése [PhDJ05].

Az értekezés témájához kapcsolódó impakt faktoros közlemények

- [PhDJ01] G. G. Barnaföldi, E. Fenyvesi et al., „A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja” *MAGYAR GEOFIZIKA* 57, pp. 152-169, 2016.
- Impakt faktor: 0.11
- [PhDJ02] G. G. Barnaföldi, T. Bulik, M. Cieslar, E. David, M. Dobroka, E. Fenyvesi, D. Gondek-Rosinska, Z. Graczer, G. Hamar, G. Huba, Á. Kis, R. Kovács, I. Lempenger, P. Lévai, J. Monár, D. Nagy, A. Novák, L. Oláh, P. Pázmándi, D. Piri, L. Somlai, T. Starecki, et al.
- „First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Matra mountain range” *CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY* 34, p. 114001, 2017.
- Impakt faktor: 3.283
- [PhDJ03] Ván, G. G. Barnaföldi, T. Bulik, T. Biró, S. Czellár, M. Cieslar, C. Czanik, E. Dávid, E. Debreceni, M. Denys, M. Dobróka, E. Fenyvesi, D. Gondek-Rosinska, Z. Gráczer, G. Hamar, G. Huba, B. Kacskovics, Á. Kis, I. Kovács, R. Kovács, I. Lempenger, et al.
- „Long term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory” *EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL-SPECIAL TOPICS* 228, pp. 1693-1743, 2019.
- Impakt faktor: 1.668

[PhDJ04] E. Fenyvesi, S. Czellár és J. Molnár
„Investigation of Infrasound Background Noise at
Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory
(MGGL)”
UNIVERSE 6, 2020.

Impakt faktor: 1.752

[PhDJ05] F. Ammann, F. Bonsignorio, T. Bulik, H. J. Bulten, S.
Cuccur, A. Dassargues, R. DeSalvo, E. Fenyvesi, F.
Fidecaro, I. Fiori, C. Giunchi, A. Grado, J. Harms, S.
Koley, L. Kovács, G. Losurdo, V. Mandic, P. Meyers,
L. Naticchioni, F. Nguyen, G. Oggiano et al.
„Site-selection criteria for the Einstein Telescope,”
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 91, p.
094504, 2020.

Impakt faktor: 1.48

A doktori értekezéshez kapcsolódó konferencia előadások

[PhDC01] Fenyvesi Edit, Czellár Sándor, Molnár József
Infrahang háttérzaj mérése az MGGL
laboratóriumban. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika
Konferencia. 2018. Április 19., Budapest

[PhDC02] Edit Fenyvesi, Investigation of infrasound noise
background at Mátra Gravitational and Geophysical
Laboratory (MGGL). ZIMÁNYI SCHOOL 2018. 7
Dec 2018, Budapest

[PhDC03] Edit Fenyvesi, Results of the long-term measurements
from the Mátra Gravitational and Geophysical

Laboratory. GRAvitational - wave Science &
Technology Symposium (GRASS 2019). 18 Oct
2019, Padova, Italy

Az értekezéshez kapcsolódó szoftverek elérhetőségei

[PhDS01] https://github.com/EditFenyvesi/ISM1_calibration

[PhDS02] https://github.com/EditFenyvesi/MGGL_infrasound

[PhDS03] https://github.com/EditFenyvesi/ET_Matra_NN_from_infrasound

[PhDS04] https://github.com/EditFenyvesi/Virgo_infrasound

Egyéb közlemények

A Virgo Együttműködés és a LIGO Tudományos Együttműködés publikációi

[J01] Abbott, R.; Abbott, T.D.; Abraham, S.; Acernese, F.;
Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R.X.; Adya, V.B.;
Affeldt, C.; Agathos, M. et al.
Open data from the first and second observing runs of
Advanced LIGO and Advanced Virgo
SoftwareX 13 Paper: 100658 , 20 p. (2021)

[J02] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, C; Adhikari, RX; Adya, VB;
Affeldt, C et al.
GW190814: Gravitational Waves from the
Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6

Solar Mass Compact Object
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 896 : 2
Paper: L44 , 20 p. (2020)

- [J03] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, C; Adhikari, RX; Adya, VB;
Affeldt, C et al.
GW190412: Observation of a binary-black-hole
coalescence with asymmetric masses
PHYSICAL REVIEW D 102 : 4 Paper: 043015 , 29 p.
(2020)
- [J04] Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abraham, S.; Acernese, F.;
Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R. X.; Adya, V. B.;
Affeldt, C. et al.
Properties and Astrophysical Implications of the 150
 M_{\odot} Binary Black Hole Merger GW190521
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 900 : 1
Paper: L13 , 27 p. (2020)
- [J05] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, A; Adams, C; Adhikari, RX;
Adya, VB; Affeldt, C et al.
Gravitational-wave Constraints on the Equatorial
Ellipticity of Millisecond Pulsars
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 902 : 1
Paper: L21 , 17 p. (2020)
- [J06] Acernese, F; Agathos, M; Aiello, L; Ain, A; Allocca,
A; Amato, A; Ansoldi, S; Antier, S; Arene, M;
Arnaud, N et al.
Quantum Backaction on Kg-Scale Mirrors:
Observation of Radiation Pressure Noise in the
Advanced Virgo Detector

PHYSICAL REVIEW LETTERS 125 : 13 Paper:
131101 , 9 p. (2020)

- [J07] Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abraham, S.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R. X.; Adya, V. B.; Affeldt, C. et al.
GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of $150 M_{\odot}$
PHYSICAL REVIEW LETTERS 125 : 10 Paper:
101102 , 17 p. (2020)
- [J08] Acernese, F; Agathos, M; Aiello, L; Allocca, A; Amato, A; Ansoldi, S; Antier, S; Arene, M; Arnaud, N; Ascenzi, S et al.
Increasing the Astrophysical Reach of the Advanced Virgo Detector via the Application of Squeezed Vacuum States of Light
PHYSICAL REVIEW LETTERS 123 : 23 Paper:
231108 , 10 p. (2019)
- [J09] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T; Addesso, P et al.
Effects of data quality vetoes on a search for compact binary coalescences in Advanced LIGO's first observing run
CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY 35 : 6 Paper: 065010 , 26 p. (2018)
- [J10] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M R; Ackley, K; Adams, C; Addesso, P; Adhikari, R X; Adya, V B et al.
Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors

CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY 34 : 4
Paper: 044001 , 11 p. (2017)

- [J11] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Search for continuous gravitational waves from
neutron stars in globular cluster NGC 6544
PHYSICAL REVIEW D95:8 Paper: 082005, 15 p.
(2017)
- [J12] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M
R; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P; Adhikari, R X et al.
Upper limits on the rates of binary neutron star and
neutron-star--black-hole mergers from Advanced
LIGO's first observing run
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 832 : 2
Paper: L21 , 17 p. (2016)
- [J13] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Results of the deepest all-sky survey for continuous
gravitational waves on LIGO S6 data running on the
Einstein@Home volunteer distributed computing
project
PHYSICAL REVIEW D 94 : 10 Paper: 102002 , 34 p.
(2016)
- [J14] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Improved Analysis of GW150914 Using a Fully Spin-
Precessing Waveform Model

- PHYSICAL REVIEW X 6 : 4 Paper: 041014 , 19 p.
(2016)
- [J15] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Binary Black Hole Mergers in the First Advanced
LIGO Observing Run
PHYSICAL REVIEW X 6 : 4 Paper: 041015 , 36 p.
(2016)
- [J16] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M
R; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P; Adhikari, R X et al.
The basic physics of the binary black hole merger
GW150914
ANNALEN DER PHYSIK 529 : 1-2 Paper: 1600209 ,
17 p. (2016)
- [J17] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Directly comparing GW150914 with numerical
solutions of Einstein's equations for binary black hole
coalescence
PHYSICAL REVIEW D 94 : 6 Paper: 064035 , 30 p.
(2016)
- [J18] Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy,
M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams,
T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X. et al.
Comprehensive all-sky search for periodic
gravitational waves in the sixth science run LIGO data
PHYSICAL REVIEW D 94 : 4 Paper: 042002 , 14 p.
(2016)

[J19] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T; Addesso, P et al.
GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence
PHYSICAL REVIEW LETTERS 116 : 24 Paper: 241103, 14 p. (2016)

Publikációk az Eötvös-kísérlet cikkek újraméréséhez kapcsolódóan

[J20] Völgyesi, L.; Szondy, Gy.; Tóth, Gy.; Péter, G.; Kiss, B.; Deák, L.; Égető, Cs.; Fenyvesi, E.; Gróf, Gy.; Ván, P.
Előkészületek az Eötvös-kísérlet újramérésére
MAGYAR GEOFIZIKA 59 : 4 pp. 165-179. , 15 p. (2018)

[J21] Völgyesi, L.; Szondy, G.; Tóth, G.; Péter, G.; Kiss, B.; Barnaföldi, G.; Deák, L.; Égető, C.; Fenyvesi, E.; Gróf, G. et al.
Preparations for the remeasurement of the Eötvös-experiment
POS - PROCEEDINGS OF SCIENCE FFK2019
Paper: 041 , 13 p. (2019)

[J22] Tóth, G.; Völgyesi, L.; Szondy, G.; Péter, G.; Kiss, B.; Barnaföldi, G.; Deák, L.; Égető, C.; Fenyvesi, E.; Gróf, G. et al.
Remeasurement of the Eötvös-experiment, status and first results
POS - PROCEEDINGS OF SCIENCE FFK2019
Paper: 042 , 10 p. (2019)

- [J23] VÖLGYESI, Lajos; SZONDY, György; TÓTH, Gyula; BARNAFÖLDI, Gergely; DEÁK, László; ÉGETŐ, Csaba; FENYVESI, Edit; HARANGOZÓ, Péter; GRÓF, Gyula; KISS, Bálint et al.
Az Eötvös-kísérlet újramérése
In: Budai, Tamás; Palotás, Klára; Piros, Olga (szerk.)
Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés az évfordulók fényében, Balatonfüred, 2019. október 3-5. : A Magyar Királyi Földtani Intézet jubileuma és az Eötvös Loránd Emlékév tiszteletére

Budapest, Magyarország : Magyarhoni Földtani Társulat, Magyar Geofizikusok Egyesülete (2019) 129 p. pp. 60-63. , 4 p.

Publikációk hálózatkutatás témakörben

- [J24] E. Fenyvesi
Examination of an Edge Weighted Network Created from Data of Couchsurfing
Acta Physica Debrecina XLVII (2013) 57-65.
- [J25] E. Fenyvesi, G. Palla
Modelling gene regulation with boolean networks
Acta Physica Debrecina XLVI (2012) 47-55.

Egyéb konferencia előadások

- [C01] Fenyvesi, E.
Switching between attractors in large-scale Boolean networks

DOFFI Fizikus Doktoranduszok Konferenciája,
Balatonfenyves, 2014. június 12-15.

[C02] Fenyvesi, E.
Examining gene regulatory network
International Winter School on Complexity from
Quantum Systems to Emergent Behaviour, December
10-14, 2012, Debrecen, Hungary.

[C03] Fenyvesi, E.
Examining gene regulatory networks
DOFFI Fizikus Doktorandusz Hallgatók Konferenciája,
Balatonfenyves, 2012. június 15-17.



Nyilvántartási szám: DEENK/209/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Fenyvesi Edit
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10058368

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Cieslar, M., Dávid, E., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Gráczner, Z., Hamar, G., Huba, G., Kis, Á., Kovács, R., Lemperger, I., Lévai, P., Molnár, J., Nagy, D., Novák, A., Oláh, L., Pázmándi, P., Piri, D., Rosinska, D., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Varga, D., Vasúth, M., Ván, P., Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z.: A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja.
Magyar Geofizika. 57 (4), 152-169, 2016. ISSN: 0025-0120.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

2. **Fenyvesi, E.**, Molnár, J., Czellár, S.: Investigation of Infrasound Background Noise at Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory (MGGL).
Universe. 6 (1), 1-13, 2020. EISSN: 2218-1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/universe6010010>
IF: 1.752 (2019)
3. Amann, F., Bonsignorio, F., Bulik, T., Bulten, H. J., Cuccuru, S., Dassargues, A., DeSalvo, R., **Fenyvesi, E.**, Fidecaro, F., Fiori, I., Giunchi, C., Grado, A., Harms, J., Koley, S., Kovács, L., Losurdo, G., Mandic, V., Meyers, P., Naticchioni, L., Nguyen, F., Oggiano, G., Olivieri, M., Paoletti, F., Paoli, A., Plastino, W., Razzano, M., Ruggi, P., Saccorotti, G., Sintes, A. M., Somlai, L., Ván, P., Vasúth, M.: Site-selection criteria for the Einstein Telescope.
Rev. Sci. Instrum. 91 (9), 1-20, 2020. ISSN: 0034-6748.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/5.0018414>
IF: 1.48 (2019)





4. Ván, P., Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Biró, T., Czellár, S., Cieslar, M., Czani, C., Dávid, E., Debreceni, E., Denys, M., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Grácz, Z., Hamar, G., Huba, G., Kacsokovics, B., Kis, Á., Kovács, I., Kovács, R., Lempinger, I., Lévai, P., Lőkös, S., Mlynarczyk, J., Molnár, J., Singh, N., Novák, A., Oláh, L., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Tringali, M. C., Varga, D., Vasúth, M., Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z., Zimborás, Z., Somlai, L.: Long term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory.
Eur. Phys. J. Spec. Top. 228 (8), 1693-1743, 2019. ISSN: 1951-6355.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2019-900153-1>
IF: 1.668
5. Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Cieslar, M., Dávid, E., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Grácz, Z., Hamar, G., Huba, G., Kis, Á., Kovács, R., Lempinger, L., Lévai, P., Molnár, J., Nagy, D., Novák, A., Oláh, L., Pázmándi, P., Piri, D., Somlai, L., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Varga, D., Vasúth, M., Ván, P., Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z.: First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Mátra mountain range.
Class. Quantum Gravity. 34 (11), 1-23, 2017. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aa69e3>
IF: 3.283

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

6. Völgyesi, L., Szondy, G., Tóth, G., Péter, G., Kiss, B., Deák, L., Égető, C., **Fenyvesi, E.**, Gróf, G., Ván, P.: Előkészületek az Eötvös-kísérlet újramérésére.
Magyar Geofizika. 59 (4), 165-179, 2018. ISSN: 0025-0120.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

7. **Fenyvesi, E.**: Examination of an edge weighted network created from data of couchsurfing.
Acta Phys. Debr. 47, 57-65, 2013. ISSN: 1789-6088.
8. **Fenyvesi, E.**, Palla, G.: Modelling gene regulation with boolean networks.
Acta Phys. Debr. 46, 47-55, 2012. ISSN: 1789-6088.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (18)

9. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Open data from the first and second observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo.
SoftwareX. 13, 1-22, 2021. ISSN: 2352-7110.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.softx.2021.100658>





10. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**:
Gravitational-wave Constraints on the Equatorial Ellipticity of Millisecond Pulsars.
Astrophys. J. Lett. 902 (1), 1-17, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/abb655>
11. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**:
GW190412: Observation of a binary-black-hole coalescence with asymmetric masses.
Phys. Rev. D. 102 (4), 1-29, 2020. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.102.043015>
12. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**:
GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150 M.
Phys. Rev. Lett. 125 (10), 1-17, 2020. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.101102>
13. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**:
GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a
2.6 Solar Mass Compact Object.
Astrophys. J. Lett. 896 (2), 1-20, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/ab960f>
14. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Properties
and Astrophysical Implications of the 150 M Binary Black Hole Merger GW190521.
Astrophys. J. Lett. 900 (1), 1-27, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/aba493>
15. Acernese, F., **Fenyvesi, E.**, **The Virgo Collaboration**: Quantum Backaction on Kg-Scale Mirrors:
Observation of Radiation Pressure Noise in the Advanced Virgo Detector.
Phys. Rev. Lett. 125 (13), 1-9, 2020. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.131101>
16. Acernese, F., **Fenyvesi, E.**, **The Virgo Collaboration**: Increasing the Astrophysical Reach of the
Advanced Virgo Detector via the Application of Squeezed Vacuum States of Light.
Phys. Rev. Lett. 123 (23), 1-10, 2019. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.231108>
17. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, The Virgo Collaboration: Effects of
data quality vetoes on a search for compact binary coalescences in Advanced LIGO's first
observing run.
Class. Quantum Gravity. 5 (6), 1-27, 2018. ISSN: 0264-9381.
IF: 3.487
18. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, **The LIGO Scientific Collaboration**: Exploring the sensitivity of next
generation gravitational wave detectors.
Class. Quantum Gravity. 34 (4), 1-18, 2017. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aa51f4>





19. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Search for continuous gravitational waves from neutron stars in globular cluster NGC 6544.
Phys. Rev. D. *95* (8), 1-15, 2017. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.95.082005>
20. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Binary Black Hole Mergers in the First Advanced LIGO Observing Run.
Phys. Rev. X. *6* (4), 1-36, 2016. EISSN: 2160-3308.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevX.6.041015>
21. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Comprehensive all-sky search for periodic gravitational waves in the sixth science run LIGO data.
Phys. Rev. D. *94* (4), 1-14, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.042002>
22. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Directly comparing GW150914 with numerical solutions of Einstein's equations for binary black hole coalescence.
Phys. Rev. D. *94* (6), 1-30, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.064035>
23. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence.
Phys. Rev. Lett. *116* (24), 1-14, 2016. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.241103>
24. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Improved Analysis of GW150914 Using a Fully Spin-Precessing Waveform Model.
Phys. Rev. X. *6* (4), 1-19, 2016. EISSN: 2160-3308.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevX.6.041014>
25. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Results of the deepest all-sky survey for continuous gravitational waves on LIGO S6 data running on the Einstein@Home volunteer distributed computing project.
Phys. Rev. D. *94* (10), 1-38, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.102002>
26. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Upper limits on the rates of binary neutron star and neutron star-black hole mergers from advanced ligo's first observing run.
Astrophys. J. Lett. *832* (2), 1-15, 2016. ISSN: 2041-8205.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8205/832/2/L21>





Idégen nyelvű konferencia közlemények (2)

27. Völgyesi, L., Szondy, G., Tóth, G., Péter, G., Kiss, B., Barnaföldi, G. G., Deák, L., Égető, C.,
Fenyvesi, E., Gróf, G., Somlai, L., Harangozó, P., Lévai, P., Ván, P.: Preparations for the
remeasurement of the Eötvös-experiment.
Proc. Sci. 353, 1-13, 2020. EISSN: 1824-8039.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22323/1.353.0041>
28. Tóth, G., Völgyesi, L., Szondy, G., Péter, G., Kiss, B., Barnaföldi, G. G., Deák, L., Égető, C.,
Fenyvesi, E., Gróf, G., Somlai, L., Harangozó, P., Lévai, P., Ván, P.: Remeasurement of the
Eötvös experiment - status and first results.
Proc. Sci. 353, 1-10, 2020. EISSN: 1824-8039.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22323/1.353.0042>

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 11,67

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre):
8,183**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.04.20.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Study of the infrasound background noise of
interferometric gravitational-wave detectors**

by Edit Fenyvesi

Supervisors: Dr. Trócsányi Zoltán
Dr. Molnár József



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2021

Prepared in the
Physical Methods in Interdisciplinary Research Program
of the Doctoral School of Physics of University of Debrecen
and at the
Institute for Nuclear Research (Debrecen, Hungary)
and at the
Wigner Research Centre for Physics (Budapest, Hungary)

The Thesis is based on researches supported
in part by the National Research, Development and Innovation Office of
Hungary within the frame of the NKFIH K124366 project
an
in part by the GINOP-2.2.1-15-2016-00012 project co-financed by the
European Regional Development Fund of the European Union and by the
Government of Hungary within the frame of the Széchenyi 2020 Program.

BACKGROUND

The first gravitational-wave (GW) signal was detected by the LIGO observatory's two detectors (Hanford, Washington and Livingston, Louisiana, USA) in 2014. Since 2017, the Italian Virgo detector is also able to detect gravitational-waves. Up to August 2019, 50 proven gravitational wave events were observed.

In the cases of the three detectors the passing gravitational-waves change the relative positions of the detector's test masses and the change can be observed by laser interferometry methods. The measurements are affected by all the other environmental processes, too, that cause changes of the density distribution of matter in the vicinity of the test masses.

For example, pressure waves like infrasound waves can directly vibrate components of the interferometer leading to relative movements within the structure and unwanted change of the fringe pattern. On the other hand, pressure waves in the air and other media cause fluctuations of the mass density distribution and, hence, the local gravitational field. The fluctuations of the mass density distribution that can move the test masses are called Newtonian Noise (NN). According to theoretical predictions, at low frequencies, Newtonian noise will limit the achievable low frequency range of the detectors.

In terms of Newtonian noise, the pressure waves below 20 Hz (a.k.a. infrasound) are the relevant. GW detectors have to be installed at sites where infrasound background noise can be minimized as much as possible. To investigate a given site's infrasound noise, one need

detectors with suitably low self-noise, appropriate sensitivity and dynamical range.

At LIGO observatory, the Hungarian Eötvös Gravity Research Group (EGRG) performed infrasound background noise measurements with an instrument developed by the group. The adVirgo collaboration investigated the infrasound noise background above 10 Hz. They found that the dominating contributor is the HVAC system that contains the air conditioning machines and the vacuum pumps.

The first theoretical model of the Newtonian noise generated by infrasound was developed at LIGO. The improved and more detailed version of the model enables one to calculate NN from the infrasound's amplitude spectral density outside of the buildings and inside the buildings that are housing the test masses. The model also considers the effect of the geometry of the buildings.

Installing GW detectors below the ground enables the extension of the frequency range of the instruments to lower frequencies. NN is expected to be suppressed by a few orders of magnitude at a site 100 meters below the ground.

One of the proposed subterranean GW detectors is the Einstein Telescope (ET). For ET a couple of European sites have been proposed and their ambient seismic noise backgrounds have been measured. The Hungarian Mátra Mountains range was among the three most suitable sites.

Motivated by that, Wigner Research Centre for Physics established the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory (MGGL) in an old mine near Károlytáró (Gyöngyösoroszi region, Hungary). The aim of MGGL is performing long-range measurements of the ambient

seismic, electromagnetic and infrasound noises, and thereby, to explore the advantages of installation of a third generation GW detector under the ground [PhDJ01], [PhDJ02].

In 2014 I became a member of the Laboratory of Electronics of the Institute for Nuclear Research (Atomki, Debrecen, Hungary). Then Atomki was involved in the maintenance and upgrading of an infrasound microphone developed by the Eötvös Gravity Research Group. The microphone was a part of the environmental monitoring system of LIGO. I participated in the analysis of the electronic response of the microphone.

After MGGL was established in 2016, Atomki joined to the scientific collaboration and I started studying the infrasound background noise of GW detectors. The task of Atomki was the development of a new type of infrasound microphone (ISM1) that is capable of fulfilling the requirements of the planned underground measurements. The new ISM1 microphone and its electronics were designed and fabricated by Dr. Sándor Czellár. The project was led by my advisor, Dr. József Molnár. The frequency range of the ISM1 infrasound microphone is 0.01-10 Hz.

AIMS OF THE RESEARCH

The data acquisition system of the ISM1 microphone was developed with my participation. Then my tasks were a) organization and implementation of field measurements with the ISM1 microphone based system in MGGL, b) evaluation and interpretation of the measured data. The aims of my work were

- the development of the methods and the software needed for processing the data measured by the ISM1 microphone based system and evaluation of the data,
- calibration of the ISM1 microphone,
- performing subterranean field measurements in MGGL and terrestrial measurements in its surroundings for studying the relevant infrasound background noises,
- evaluation of the measured data and interpretation of the results,
- drawing conclusions on the performance of the ISM1 infrasound microphone based measurement system of Atomki,
- comparison of the infrasound background of MGGL with the infrasound backgrounds of the LIGO and adVirgo GW detectors,
- drawing conclusions on the expected infrasound noise background of the proposed Hungarian underground site that would host the Einstein Telescope,
- estimation for the expected contribution of the infrasound noise background to the Newtonian noise for the case when the Einstein Telescope would be installed at the proposed underground site in the Mátra Mountains in Hungary.

My research was motivated mainly by the international interest for identification sites that would be suitable for installing the planned

Einstein Telescope. The second motivation was the need for new results for subterranean infrasound measurements that can provide input information for estimations for the expected Newtonian noise at the proposed Hungarian site for ET.

During my research I obtained not only new technical information but new scientific results in interdisciplinary fields of earth sciences and physics, too. The results can help the site selection for the Einstein Telescope and, thus, indirectly the future gravitation researches.

NEW SCIENTIFIC RESULTS

I performed the calibration measurements of the ISM1 infrasound microphone based monitoring system at the PSZI3 infrasound monitoring station of Piskésetető Observatory (Piskésetető, Hungary) of the Geodetic and Geophysical Institute of Research Centre for Astronomy and Earth Sciences [PhDJ03].

According to the research program of MGGL, I started measuring infrasound with the system at the laboratory in 2016. My task was the characterization of ambient infrasound noise at the site. The collaboration introduced the site, the research program and the first results of the investigations in two publications [PhDJ01], [PhDJ02]. I wrote one section to each of them about the infrasound measurements.

After finishing the long-term site characterization investigations, the collaboration published the results [PhDJ03]. I wrote a section of the infrasound monitoring system, its calibration, and the ambient infrasound noise characterized with the median of the pressure amplitude spectral density (ASD) values at a given frequency. The

spread of the ASD values was characterized by the 5th and 95th percentiles. The results of the long-term site characterization investigations at MGGL contributed to the preparations of the Einstein telescope [PhDJ05].

From time to time recultivation activity was going on at the mine site where MGGL is operating. Therefore, first I identified the contributions of this anthropogenic activity and the machines in the mine to the infrasound noise background. Then I identified and characterized the noise segments that were devoid of anthropogenic effects, because only those segments are relevant for the site characterization of ET. I developed a data processing pipeline for characterization of the infrasound noise at MGGL. As first and corresponding author I published a paper on the results in a peer reviewed international scientific journal that has impact factor [PhDJ04].

The Institute for Nuclear Research developed a second infrasound microphone (ISM1801) with frequency range extended to 30 Hz. The frequency range was adjusted to the sensitive frequency range of adVirgo. In 2019 I installed ISM1801 in the central Building (CEB) of the adVirgo GW detector. The microphone measured the infrasound noise background during the third observation run of adVirgo between March 2019 and April 2020. Thus, I had the opportunity to identify the dominating sources of infrasound and I studied their effect on the ambient ASD.

At last, I estimated the contribution of the infrasound background noise to the expected Newtonian noise of ET for its proposed site in Mátra Mountains in Hungary. In order to examine the long-term behavior of the noise, I processed data collected through a whole year by the four infrasound measuring stations of Piskésetető Observatory

at Mátra Mountains range. I computed median ASD values of the data, and from them I computed Newtonian noises via using a theoretical model published recently (D. Fiorucci et al., Physical Review D 97, 062003, 2018).

My expertise I acquired and the results I obtained during my measurements in MGGL have been considered as a contribution to preparation of the realization of the Einstein Telescope [PhDJ05].

I have prepared 3 Thesis Points for summarizing the new technical and scientific results of my work that aimed at investigation of the infrasound backgrounds of sites of interferometric GW detectors.

Thesis Point 1

Determination of the ASD – sound pressure ASD transformation function for the ISM1 type infrasound microphone developed in the Institute for Nuclear Research (Atomki, Debrecen, Hungary)

I participated in the designing process of the ISM1 infrasound microphone developed for Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory. I also participated in the designing of the data acquisition unit. I planned the calibration method of ISM1, and I performed the measurements. I also developed a software [PhDS01] that processes the measured data and gives the transfer function which computes the measured ASD given in ADC units to pressure ASD values [PhDJ01], [PhDJ02], [PhDJ03], [PhDJ04].

Thesis Point 2

A procedure and software developed for processing and evaluation of the data of long term infrasound background measurements performed at MGGL

I developed a software pipeline [PhDS02] (written in Python) to process the data of my long term infrasound measurements. The software separates data segments that contain transients from data segments that contain stationary noise only. It finds transients with a method based on the Haar-transformation. The software computes ASD of segments of stationary noise and takes the median and the 5th (or 10th) and 95th (or 90th) percentiles of the different ASD values corresponding to a given frequency. Percentiles characterize the spread of ASD values of a certain frequency [PhDJ01], [PhDJ02], [PhDJ03], [PhDJ04].

Thesis Point 3

First measurement of the sound pressure Amplitude Spectral Density as a function of the frequency for the natural infrasound noise background for the proposed underground installation site of the Einstein Telescope in Hungary

I installed ISM1 and its data acquisition unit to MGGL with the aim of performing long term infrasound measurements there. I processed the data collected during a two-week long measurement period with the software pipeline I developed [PhDS02]. I searched for transients, and showed that the frequency band corresponding to them overlaps with the frequency range of ISM1. According to the large amplitude of the

transients and their rate of occurrence through a day, I concluded that they are originated from anthropogenic activities and machines in the mine. Therefore, the observed transients were excluded from the characterization of the infrasound background noise relevant to ET [PhDJ04].

In order to investigate the contribution of machinery to the ambient noise at MGGL, an experiment was carried out. The operators at the mine turned off the machines systematically. I measured the infrasound background and I determined the infrasound ASD values of different periods corresponding to the turning off of a given machine. I showed that the main contributor to the infrasound noise is the ventilation system. In order to give the representative noise ASD for the site characterization of ET [PhDJ04], I chose the data that were collected when the ventilation system was turned off.

The obtained spectrum is similar to the spectrum I estimated using the Bowman-models that describe the terranean natural infrasound background [PhDJ04].

Then I compared the representative infrasound ASD of MGGL and another subterranean site (Sos Ennatos mine, Sardinia, Italy) with the representative ASDs measured at LIGO and adVirgo [PhDJ04]. In this way I confirmed that it is advantageous to install a third generation interferometric GW detector deep under the ground [PhDJ05].

For the first time, on the basis of my measurements I performed at MGGL, I have estimated the frequency dependency of the Newtonian noise that is expected at the proposed Hungarian site of the Einstein Telescope [PhDS03] [PhDJ04].

Also, I made estimations for the spectral distribution of the Newtonian noise induced by the terranean natural infrasound background near the subterranean site of the Einstein Telescope. I used a recently published method. I developed a dedicated software [PhDS03] for processing the data measured by the terranean infrasound monitoring stations operated near the proposed ET site at Pizskéstető Observatory of the for Geodetic and Geophysics Institute of Research Centre for Astronomy and Earth Sciences and published at the <http://eida.gfz-potsdam.de/webdc3/> web site. The results I obtained indicate that the spectral distribution of the median Newtonian noise at the depth of the Einstein Telescope induced by the terranean natural infrasound background at the site depends on the time of day and the season, too.

I developed a software [PhDS04] for processing the data measured by the ISM1801 infrasound microphone operated by Atomki at adVirgo. Then I compared the results of the measurements I performed at MGGL and at adVirgo. The results indicate the effects of air-flows on the infrasound background of the two sites. I have shown that below 2 Hz the pressure ASD values of the infrasound background in the CEntral Building (CEB) of adVirgo is determined by the wind. Above 2 Hz the vacuum pumps and the HVAC system are the main contributors. The HVAC system consists of the ventilation system and the air conditioning systems of CEB.

The results I obtained at MGGL and adVirgo for the role of the air-flows have been used during the specification of criteria for site selection and for designing the tunnel system of the Einstein Telescope [PhDJ05].

Also, the results of my measurements support the idea that the subterranean installation of future interferometric gravitation-wave detectors is advantageous.

List of publications

Scientific papers with impact factor related to the Thesis

- [PhDJ01] G. G. Barnaföldi, E. Fenyvesi et al., „A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja” *MAGYAR GEOFIZIKA* 57, pp. 152-169, 2016.
- Impakt faktor: 0.11
- [PhDJ02] G. G. Barnaföldi, T. Bulik, M. Cieslar, E. David, M. Dobroka, E. Fenyvesi, D. Gondek-Rosinska, Z. Graczer, G. Hamar, G. Huba, Á. Kis, R. Kovács, I. Lemperger, P. Lévai, J. Monár, D. Nagy, A. Novák, L. Oláh, P. Pázmándi, D. Piri, L. Somlai, T. Starecki, et al.
- „First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Matra mountain range” *CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY* 34, p. 114001, 2017.
- Impakt faktor: 3.283
- [PhDJ03] Ván, G. G. Barnaföldi, T. Bulik, T. Biró, S. Czellár, M. Cieslar, C. Czanik, E. Dávid, E. Debreceni, M. Denys, M. Dobróka, E. Fenyvesi, D. Gondek-Rosinska, Z. Gráczer, G. Hamar, G. Huba, B. Kacsokovics, Á. Kis, I. Kovács, R. Kovács, I. Lemperger, et al.
- „Long term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory” *EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL-SPECIAL TOPICS* 228, pp. 1693-1743, 2019.

Impakt faktor: 1.668

- [PhDJ04] E. Fenyvesi, S. Czellár és J. Molnár
„Investigation of Infrasound Background Noise at
Matra Gravitational and Geophysical Laboratory
(MGGL)”
UNIVERSE 6, 2020.

Impakt faktor: 1.752

- [PhDJ05] F. Ammann, F. Bonsignorio, T. Bulik, H. J. Bulten, S.
Cuccur, A. Dassargues, R. DeSalvo, E. Fenyvesi, F.
Fidecaro, I. Fiori, C. Giunchi, A. Grado, J. Harms, S.
Koley, L. Kovács, G. Losurdo, V. Mandić, P. Meyers,
L. Naticchioni, F. Nguyen, G. Oggiano et al.
„Site-selection criteria for the Einstein Telescope,”
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 91, p.
094504, 2020.

Impakt faktor: 1.48

Conference presentations related to the Thesis

- [PhDC01] Fenyvesi Edit, Czellár Sándor, Molnár József
Infrahang háttérzaj mérése az MGGL
laboratóriumban. Mérnökgeológia-Közetmechanika
Konferencia. 2018. Április 19., Budapest
- [PhDC02] Edit Fenyvesi, Investigation of infrasound noise
background at Mátra Gravitational and Geophysical
Laboratory (MGGL). ZIMÁNYI SCHOOL 2018. 7
Dec 2018, Budapest

[PhDC03] Edit Fenyvesi, Results of the long-term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory. GRAvitational - wave Science & Technology Symposium (GRASS 2019). 18 Oct 2019, Padova, Italy

Online availability of the software related to the present Thesis

[PhDS01] https://github.com/EditFenyvesi/ISM1_calibration

[PhDS02] https://github.com/EditFenyvesi/MGGL_infrasound

[PhDS03] https://github.com/EditFenyvesi/ET_Matra_NN_from_infrasound

[PhDS04] https://github.com/EditFenyvesi/Virgo_infrasound

Other publications

Publications of the LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration

[J01] Abbott, R.; Abbott, T.D.; Abraham, S.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R.X.; Adya, V.B.; Affeldt, C.; Agathos, M. et al.
Open data from the first and second observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo
SoftwareX 13 Paper: 100658 , 20 p. (2021)

[J02] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, C; Adhikari, RX; Adya, VB;
Affeldt, C et al.
GW190814: Gravitational Waves from the
Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6

Solar Mass Compact Object
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 896 : 2
Paper: L44 , 20 p. (2020)

- [J03] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, C; Adhikari, RX; Adya, VB;
Affeldt, C et al.
GW190412: Observation of a binary-black-hole
coalescence with asymmetric masses
PHYSICAL REVIEW D 102 : 4 Paper: 043015 , 29 p.
(2020)
- [J04] Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abraham, S.; Acernese, F.;
Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R. X.; Adya, V. B.;
Affeldt, C. et al.
Properties and Astrophysical Implications of the 150
 M_{\odot} Binary Black Hole Merger GW190521
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 900 : 1
Paper: L13 , 27 p. (2020)
- [J05] Abbott, R; Abbott, TD; Abraham, S; Acernese, F;
Ackley, K; Adams, A; Adams, C; Adhikari, RX;
Adya, VB; Affeldt, C et al.
Gravitational-wave Constraints on the Equatorial
Ellipticity of Millisecond Pulsars
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 902 : 1
Paper: L21 , 17 p. (2020)
- [J06] Acernese, F; Agathos, M; Aiello, L; Ain, A; Allocca,
A; Amato, A; Ansoldi, S; Antier, S; Arene, M;
Arnaud, N et al.
Quantum Backaction on Kg-Scale Mirrors:
Observation of Radiation Pressure Noise in the
Advanced Virgo Detector

PHYSICAL REVIEW LETTERS 125 : 13 Paper:
131101 , 9 p. (2020)

- [J07] Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abraham, S.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R. X.; Adya, V. B.; Affeldt, C. et al.
GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of $150 M_{\odot}$
PHYSICAL REVIEW LETTERS 125 : 10 Paper:
101102 , 17 p. (2020)
- [J08] Acernese, F; Agathos, M; Aiello, L; Allocca, A; Amato, A; Ansoldi, S; Antier, S; Arene, M; Arnaud, N; Ascenzi, S et al.
Increasing the Astrophysical Reach of the Advanced Virgo Detector via the Application of Squeezed Vacuum States of Light
PHYSICAL REVIEW LETTERS 123 : 23 Paper:
231108 , 10 p. (2019)
- [J09] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T; Addesso, P et al.
Effects of data quality vetoes on a search for compact binary coalescences in Advanced LIGO's first observing run
CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY 35 : 6
Paper: 065010 , 26 p. (2018)
- [J10] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M R; Ackley, K; Adams, C; Addesso, P; Adhikari, R X; Adya, V B et al.
Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors

CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY 34 : 4
Paper: 044001 , 11 p. (2017)

- [J11] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Search for continuous gravitational waves from
neutron stars in globular cluster NGC 6544
PHYSICAL REVIEW D95:8 Paper: 082005, 15 p.
(2017)
- [J12] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M
R; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P; Adhikari, R X et al.
Upper limits on the rates of binary neutron star and
neutron-star--black-hole mergers from Advanced
LIGO's first observing run
ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS 832 : 2
Paper: L21 , 17 p. (2016)
- [J13] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Results of the deepest all-sky survey for continuous
gravitational waves on LIGO S6 data running on the
Einstein@Home volunteer distributed computing
project
PHYSICAL REVIEW D 94 : 10 Paper: 102002 , 34 p.
(2016)
- [J14] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Improved Analysis of GW150914 Using a Fully Spin-
Precessing Waveform Model

- PHYSICAL REVIEW X 6 : 4 Paper: 041014 , 19 p.
(2016)
- [J15] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Binary Black Hole Mergers in the First Advanced
LIGO Observing Run
PHYSICAL REVIEW X 6 : 4 Paper: 041015 , 36 p.
(2016)
- [J16] Abbott, B P; Abbott, R; Abbott, T D; Abernathy, M
R; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P; Adhikari, R X et al.
The basic physics of the binary black hole merger
GW150914
ANNALEN DER PHYSIK 529 : 1-2 Paper: 1600209 ,
17 p. (2016)
- [J17] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR;
Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T;
Addesso, P et al.
Directly comparing GW150914 with numerical
solutions of Einstein's equations for binary black hole
coalescence
PHYSICAL REVIEW D 94 : 6 Paper: 064035 , 30 p.
(2016)
- [J18] Abbott, B. P.; Abbott, R.; Abbott, T. D.; Abernathy,
M. R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams,
T.; Addesso, P.; Adhikari, R. X. et al.
Comprehensive all-sky search for periodic
gravitational waves in the sixth science run LIGO data
PHYSICAL REVIEW D 94 : 4 Paper: 042002 , 14 p.
(2016)

- [J19] Abbott, BP; Abbott, R; Abbott, TD; Abernathy, MR; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T; Addesso, P et al.
GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence
PHYSICAL REVIEW LETTERS 116 : 24 Paper: 241103, 14 p. (2016)

Publications related to re-measurement of the Eötvös-experiment

- [J20] Völgyesi, L.; Szondy, Gy.; Tóth, Gy.; Péter, G.; Kiss, B.; Deák, L.; Égető, Cs.; Fenyvesi, E.; Gróf, Gy.; Ván, P.
Előkészületek az Eötvös-kísérlet újramérésére
MAGYAR GEOFIZIKA 59 : 4 pp. 165-179. , 15 p. (2018)
- [J21] Völgyesi, L.; Szondy, G.; Tóth, G.; Péter, G.; Kiss, B.; Barnaföldi, G.; Deák, L.; Égető, C.; Fenyvesi, E.; Gróf, G. et al.
Preparations for the remeasurement of the Eötvös-experiment
POS - PROCEEDINGS OF SCIENCE FFK2019
Paper: 041 , 13 p. (2019)
- [J22] Tóth, G.; Völgyesi, L.; Szondy, G.; Péter, G.; Kiss, B.; Barnaföldi, G.; Deák, L.; Égető, C.; Fenyvesi, E.; Gróf, G. et al.
Remeasurement of the Eötvös-experiment, status and first results
POS - PROCEEDINGS OF SCIENCE FFK2019
Paper: 042 , 10 p. (2019)

- [J23] VÖLGYESI, Lajos; SZONDY, György; TÓTH, Gyula; BARNAFÖLDI, Gergely; DEÁK, László; ÉGETŐ, Csaba; FENYVESI, Edit; HARANGOZÓ, Péter; GRÓF, Gyula; KISS, Bálint et al.
Az Eötvös-kísérlet újramérése
In: Budai, Tamás; Palotás, Klára; Piros, Olga (szerk.)
Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés az évfordulók fényében, Balatonfüred, 2019. október 3-5. : A Magyar Királyi Földtani Intézet jubileuma és az Eötvös Loránd Emlékév tiszteletére
Budapest, Magyarország : Magyarhoni Földtani Társulat, Magyar Geofizikusok Egyesülete (2019) 129 p. pp. 60-63., 4 p.

Publications in network research fields

- [J24] E. Fenyvesi
Examination of an Edge Weighted Network Created from Data of Couchsurfing
Acta Physica Debrecina XLVII (2013) 57-65.
- [J25] E. Fenyvesi, G. Palla
Modelling gene regulation with boolean networks
Acta Physica Debrecina XLVI (2012) 47-55.

Lectures presented in conferences

- [C01] Fenyvesi, E.
Switching between attractors in large-scale Boolean networks
DOFFI Fizikus Doktoranduszok Konferenciája,
Balatonfenyves, 2014. június 12-15.
- [C02] Fenyvesi, E.
Examining gene regulatory network
International Winter School on Complexity from
Quantum Systems to Emergent Behaviour, December
10-14, 2012, Debrecen, Hungary.
- [C03] Fenyvesi, E.
Examining gene regulatory networks
DOFFI Fizikus Doktorandusz Hallgatók Konferenciája,
Balatonfenyves, 2012. június 15-17.



Registry number: DEENK/209/2021.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Edit Fenyvesi
Doctoral School: Doctoral School of Physics
MTMT ID: 10058368

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

1. Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Cieslar, M., Dávid, E., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Gráczner, Z., Hamar, G., Huba, G., Kis, Á., Kovács, R., Lemperger, I., Lévai, P., Molnár, J., Nagy, D., Novák, A., Oláh, L., Pázmándi, P., Piri, D., Rosinska, D., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Varga, D., Vasúth, M., Ván, P., Vársárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z.: A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja.
Magyar Geofizika. 57 (4), 152-169, 2016. ISSN: 0025-0120.

Foreign language scientific articles in international journals (4)

2. **Fenyvesi, E.**, Molnár, J., Czellár, S.: Investigation of Infrasound Background Noise at Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory (MGGL).
Universe. 6 (1), 1-13, 2020. EISSN: 2218-1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/universe6010010>
IF: 1.752 (2019)
3. Amann, F., Bonsignorio, F., Bulik, T., Bulten, H. J., Cuccuru, S., Dassargues, A., DeSalvo, R., **Fenyvesi, E.**, Fidecaro, F., Fiori, I., Giunchi, C., Grado, A., Harms, J., Koley, S., Kovács, L., Losurdo, G., Mandic, V., Meyers, P., Naticchioni, L., Nguyen, F., Oggiano, G., Olivieri, M., Paoletti, F., Paoli, A., Plastino, W., Razzano, M., Ruggi, P., Saccorotti, G., Sintès, A. M., Somlai, L., Ván, P., Vasúth, M.: Site-selection criteria for the Einstein Telescope.
Rev. Sci. Instrum. 91 (9), 1-20, 2020. ISSN: 0034-6748.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/5.0018414>
IF: 1.48 (2019)





4. Ván, P., Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Biró, T., Czellár, S., Cieslar, M., Czaniik, C., Dávid, E., Debreceni, E., Denys, M., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Gráczter, Z., Hamar, G., Huba, G., Kacsokovics, B., Kis, Á., Kovács, I., Kovács, R., Lemperger, I., Lévai, P., Lőkös, S., Mlyncarczyk, J., Molnár, J., Singh, N., Novák, A., Oláh, L., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Tringali, M. C., Varga, D., Vasúth, M., Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z., Zimborás, Z., Somlai, L.: Long term measurements from the Mátra Gravitational and Geophysical Laboratory.
Eur. Phys. J. Spec. Top. 228 (8), 1693-1743, 2019. ISSN: 1951-6355.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2019-900153-1>
IF: 1.668
5. Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Cieslar, M., Dávid, E., Dobróka, M. M., **Fenyvesi, E.**, Gondek-Rosinska, D., Gráczter, Z., Hamar, G., Huba, G., Kis, Á., Kovács, R., Lemperger, I., Lévai, P., Molnár, J., Nagy, D., Novák, A., Oláh, L., Pázmándi, P., Piri, D., Somlai, L., Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Varga, D., Vasúth, M., Ván, P., Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z.: First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Mátra mountain range.
Class. Quantum Gravity. 34 (11), 1-23, 2017. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aa69e3>
IF: 3.283

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

6. Völgyesi, L., Szondy, G., Tóth, G., Péter, G., Kiss, B., Deák, L., Égető, C., **Fenyvesi, E.**, Gróf, G., Ván, P.: Előkészületek az Eötvös-kísélet újramérésére.
Magyar Geofizika. 59 (4), 165-179, 2018. ISSN: 0025-0120.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

7. **Fenyvesi, E.**: Examination of an edge weighted network created from data of couchsurfing.
Acta Phys. Debr. 47, 57-65, 2013. ISSN: 1789-6088.
8. **Fenyvesi, E.**, Palla, G.: Modelling gene regulation with boolean networks.
Acta Phys. Debr. 46, 47-55, 2012. ISSN: 1789-6088.

Foreign language scientific articles in international journals (18)

9. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: **Open data** from the first and second observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo.
SoftwareX. 13, 1-22, 2021. ISSN: 2352-7110.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.softx.2021.100658>





10. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Gravitational-wave Constraints on the Equatorial Ellipticity of Millisecond Pulsars. *Astrophys. J. Lett.* 902 (1), 1-17, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/abb655>
11. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: GW190412: Observation of a binary-black-hole coalescence with asymmetric masses. *Phys. Rev. D.* 102 (4), 1-29, 2020. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.102.043015>
12. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150 M. *Phys. Rev. Lett.* 125 (10), 1-17, 2020. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.101102>
13. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6 Solar Mass Compact Object. *Astrophys. J. Lett.* 896 (2), 1-20, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/ab960f>
14. Abbott, R., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Properties and Astrophysical Implications of the 150 M Binary Black Hole Merger GW190521. *Astrophys. J. Lett.* 900 (1), 1-27, 2020. EISSN: 2041-8213.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8213/aba493>
15. Acernese, F., **Fenyvesi, E.**, **The Virgo Collaboration**: Quantum Backaction on Kg-Scale Mirrors: Observation of Radiation Pressure Noise in the Advanced Virgo Detector. *Phys. Rev. Lett.* 125 (13), 1-9, 2020. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.131101>
16. Acernese, F., **Fenyvesi, E.**, **The Virgo Collaboration**: Increasing the Astrophysical Reach of the Advanced Virgo Detector via the Application of Squeezed Vacuum States of Light. *Phys. Rev. Lett.* 123 (23), 1-10, 2019. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.231108>
17. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Effects of data quality vetoes on a search for compact binary coalescences in Advanced LIGO's first observing run. *Class. Quantum Gravity.* 5 (6), 1-27, 2018. ISSN: 0264-9381.
IF: 3.487
18. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, **The LIGO Scientific Collaboration**: Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors. *Class. Quantum Gravity.* 34 (4), 1-18, 2017. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aa5114>





19. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Search for continuous gravitational waves from neutron stars in globular cluster NGC 6544.
Phys. Rev. D. 95 (8), 1-15, 2017. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.95.082005>
20. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Binary Black Hole Mergers in the First Advanced LIGO Observing Run.
Phys. Rev. X. 6 (4), 1-36, 2016. EISSN: 2160-3308.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevX.6.041015>
21. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Comprehensive all-sky search for periodic gravitational waves in the sixth science run LIGO data.
Phys. Rev. D. 94 (4), 1-14, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.042002>
22. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Directly comparing GW150914 with numerical solutions of Einstein's equations for binary black hole coalescence.
Phys. Rev. D. 94 (6), 1-30, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.064035>
23. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence.
Phys. Rev. Lett. 116 (24), 1-14, 2016. ISSN: 0031-9007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.241103>
24. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Improved Analysis of GW150914 Using a Fully Spin-Precessing Waveform Model.
Phys. Rev. X. 6 (4), 1-19, 2016. EISSN: 2160-3308.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevX.6.041014>
25. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Results of the deepest all-sky survey for continuous gravitational waves on LIGO S6 data running on the Einstein@Home volunteer distributed computing project.
Phys. Rev. D. 94 (10), 1-38, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.102002>
26. Abbott, B. P., **Fenyvesi, E.**, The LIGO Scientific Collaboration, **The Virgo Collaboration**: Upper limits on the rates of binary neutron star and neutron star-black hole mergers from advanced ligo's first observing run.
Astrophys. J. Lett. 832 (2), 1-15, 2016. ISSN: 2041-8205.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8205/832/2/L21>





Foreign language conference proceedings (2)

27. Völgyesi, L., Szondy, G., Tóth, G., Péter, G., Kiss, B., Barnaföldi, G. G., Deák, L., Égető, C.,
Fenyvesi, E., Gróf, G., Somlai, L., Harangozó, P., Lévai, P., Ván, P.: Preparations for the
remeasurement of the Eötvös-experiment.
Proc. Sci. 353, 1-13, 2020. EISSN: 1824-8039.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22323/1.353.0041>
28. Tóth, G., Völgyesi, L., Szondy, G., Péter, G., Kiss, B., Barnaföldi, G. G., Deák, L., Égető, C.,
Fenyvesi, E., Gróf, G., Somlai, L., Harangozó, P., Lévai, P., Ván, P.: Remeasurement of the
Eötvös experiment - status and first results.
Proc. Sci. 353, 1-10, 2020. EISSN: 1824-8039.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22323/1.353.0042>

Total IF of journals (all publications): 11,67

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 8,183

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on
the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

20 April, 2021

