

## Először figyelt meg „vegyes” feketelyuk–neutroncsillag-párokat a Virgo és a LIGO

*A Virgo, a LIGO és a KAGRA egy újabb hiányzó láncszemmel egészítette ki az extrém kozmikus jelenségekről alkotott ismereteinket: először figyeltek meg közvetlenül egy fekete lyukból és egy neutroncsillagból alkotott kettős rendszert. Ez egy teljesen újfajta rendszert képvisel, mivel mind ez idáig csak kettős fekete lyukakból vagy kettős neutroncsillagokból álló rendszerek által sugárzott gravitációs hullámokat észleltünk. Ez a felfedezés azokba az összetett mechanizmusokba enged betekintést, amelyek ezeket az extrém és ritka asztrofizikai eseményeket előidézhették, és a korábbi Virgo- és LIGO-észlelésekkel együtt, egy még fel nem térképezett kozmikus tájat nyitnak meg előttünk.*

A Virgo, a LIGO és a KAGRA tudományos együttműködések 2021. június 29-én bejelentették, hogy elsőként sikerült olyan kettős rendszereket megfigyelniük, amelyek egy fekete lyukból és egy neutroncsillagból (NSBH) állnak. Ezt az eredményt az tette lehetővé, hogy 2020. januárjában észlelték a két rendszer gravitációhullám-jelét, amelyekben egy fekete lyuk és egy körülötte keringő neutroncsillag olvadt össze egyetlen kompakt objektummá. Ezeknek a vegyes rendszereknek a létezését a csillagászok már több évtizeddel ezelőtt megjósolták, de idáig soha nem figyelték meg kellő bizonyossággal, sem elektromágneses, sem gravitációs jelek révén. A mostani, jelentős eredmény a *The Astrophysical Journal Letters* című folyóiratban jelent meg 2021. június 29-én.

2020. január 5-én az Egyesült Államokban, a Louisiana állambeli Livingstonban található Advanced LIGO detektor és az olaszországi Advanced Virgo detektor egy gravitációs hullámot figyelt meg, amelyet az NSBH-pár zsugorodó pályáján megtett néhány utolsó, az összeolvadást megelőző keringés során sugárzott ki. Mindössze 10 nappal később egy másik hasonló kettős rendszer keringéséből és összeolvadásából származó második gravitációshullám-jelet is megfigyeltek, ezúttal az Advanced LIGO és Virgo detektorai is. Ez a két, GW200105 és GW200115 jelzésű (észlelésük dátuma alapján) esemény képviseli a neutroncsillagok és fekete lyukak kevert rendszere által sugárzott gravitációs hullámok első megfigyelését.

A januárban észlelt gravitációshullám-jelek értékes információkat hordoznak a rendszerek fizikai jellemzőiről, például a két NSBH-pár tömegéről és távolságáról, valamint azokról a fizikai mechanizmusokról, amelyek a kettőst létrehozták és a komponensek összeolvadásához vezettek. A jel elemzése megmutatta, hogy a GW200105-eseményt létrehozó fekete lyuk és neutroncsillag tömege körülbelül 8,9-szerese és 1,9-szerese Napunk ( $M_{\odot}$ ) tömegének. Továbbá rámutatott, hogy egyesülésük 900 millió évvel ezelőtt történt, több 100 millió évvel ezelőtt, hogy az első dinoszauruszok megjelentek a Földön. A Virgo és a LIGO tudósai úgy becsülik, hogy a GW200115-eseményt létrehozó kompakt objektumok tömege nagyjából 5,7  $M_{\odot}$  (fekete lyuk) és 1,5  $M_{\odot}$  (neutroncsillag) volt, és hogy majdnem egymilliárd évvel ezelőtt egyesültek.

„Bizonyítékokat nyertünk arra, hogy műszereink érzékenysége már meghaladja az ilyen rendszerek felderítéséhez szükséges küszöböt” – jelentette ki Giancarlo Cella, az INFN kutatója és a Virgo adatelemzési koordinátora. – „Így azt várjuk, hogy ez a következő megfigyelési időszakban rutinszerűvé válhat.”

Dr. Barta Dániel, a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos munkatársa és a Virgo együttműködés tagja a következőképpen kommentálta a bejelentést: „Az olyan kompakt kettős rendszerek, amelyek legalább egyik komponense neutron csillag, nem csak a relativisztikus asztrofizikai objektumokra vonatkozó ismereteinket bővítik, hanem kivételes lehetőséget nyújtanak az extrém nagy sűrűségű maganyag és a gravitáció kapcsolatának tanulmányozására is. A kompakt csillagok olyan

megfigyelhető makroszkopikus fizikai jellemzőiből, mint a tömegük és sugaruk, következtethetünk a mikrofizikai tulajdonságaikra. A rövid idejű pericentrikus áthaladás során, mikor a neutroncsillag megközelíti a fekete lyukat, az árapályerők deformálják a csillagot és ún. r-módusú rezgéseket gerjesztenek, amelyek viszont saját, tipikusan hosszú időtartamú gravitációshullám-jeleket bocsájtanak ki és csatolódnak a kompakt kettős jeléhez. Ily módon a frekvenciájuk segítségével jellemezett rezgések a csillagok szerkezetéről is információkat kódolnak a gravitációshullám-jelbe.”

A LIGO–Virgo együttműködés munkájában három magyar kutatócsoport is részt vesz, és a fentihez kapcsolódó kutatási témákon dolgoznak. A Dr. Vasúth Mátyás vezette, a Wigner Fizikai Kutatóközpontban működő Gravitációfizikai Kutatócsoportja 2010-től a Virgo együttműködés tagja. Az Eötvös Gravity Research Group (EGRG) az Eötvös Loránd Tudományegyetemen működik Dr. Frei Zsolt vezetésével, ami 2007 óta az LSC tagja. Szintén a LIGO együttműködés tagja a Szegedi Tudományegyetem gravitációs hullámok kutatásával foglalkozó, Dr. Gergely Árpád László vezette kutatócsoportja, mely 2009-től az ELTE csoport külső tagjaként, 2014-től pedig önállóan végzi kutatómunkáját. Az együttműködésnek a három magyarországi kutatócsoporton kívül is vannak magyar résztvevői, Dr. Bartos Imre, a Floridai Egyetem, Dr. Márka Szabolcs és Dr. Márka Zsuzsa pedig a Columbia Egyetem kutatóiként vesznek részt a kutatásokban.

## TOVÁBBI INFORMÁCIÓK:

### **Hogyan alakul ki és olvad össze egy fekete lyuk és neutroncsillag-pár? (lásd: Infographics)**

A jelenlegi asztrofizikai modellek az NSBH-párok kialakulásához két fő elméleti forgatókönyvet vesznek figyelembe. Az egyik, az úgynevezett „izolált kettős fejlődés”, két csillag, amelyek egymás körül keringenek, és életük végén a szupernóva-robbanások után még mindig egy fekete lyuk és egy neutroncsillag kötött rendszerét alkotják. A másik lehetőség az, hogy a neutroncsillag és a fekete lyuk különálló csillagokból képződik, egymással nem összefüggő szupernóva-robbanások során, és csak utána találkoznak. Ezt az úgynevezett „dinamikus kölcsönhatást” különböző fizikai mechanizmusok indíthatják el sűrű csillagkörnyezetben, például gömbhalmazokban, fiatal csillaghalmazokban vagy akár az aktív galaxismagok akkréciós korongjában.

Ezen különböző elméleti forgatókönyvek alapján előrejelzéseket lehet megfogalmazni például a fekete lyuk és a neutroncsillagok irányáról (az ún. „spinek”) a pályamozgáshoz viszonyítva, vagy általában véve arról, hogy hány NSBH-pár jön létre egy meghatározott időtartamon belül az Univerzumban (az összeolvadási rátának nevezett mennyiség). A ma bejelentett észleléseknek köszönhetően ezeket az előrejelzéseket először összehasonlíthatjuk a két megfigyelt NSBH pár adataival, és elkezdhetjük vizsgálni a különböző asztrofizikai modelleket.

Például, ha figyelembe vesszük, hogy a LIGO és a VIRGO megfigyelési időszakok alatt csak ezt a két NSBH eseményt észlelték, kiderül, hogy a Földtől egymilliárd fényév távolságon belül évente 5–15 ilyen esemény következik be. Ez az arány összhangban van mind az izolált kettőscsillagok fejlődésével, mind a fiatal csillaghalmazok vagy az aktív galaxismagokban tapasztalható dinamikus kölcsönhatással; azonban ez a becsült ráta, valamint a GW200105 és GW200115 megfigyelt spinértékei nem teszik lehetővé csak egy meghatározott képződési forgatókönyv kiválasztását.

A vegyes neutroncsillag–feketelyuk-rendszer detektálásának további bizonyítéka lehetett volna az elektromágneses sugárzásnak a gravitációs hullámokkal együtt történő észlelése. Valójában, ha a két kompakt objektum tömege nagyjából hasonló, akkor a neutroncsillag, miközben a fekete lyukat megközelíti, olyan hatalmas árapály-erőknek van kitéve, hogy szétszakad. Ebben az esetben a gravitációs sugárzás mellett az elektromágneses sugárzás látványos fellángolásait is megfigyelhetjük, amit a fekete lyuk körüli csillaganyag felbomlása okoz: ez hasonló ahhoz a mechanizmus, amely a

galaxisok középpontjában lévő szuper-nagy tömegű fekete lyukak körüli akkréciós korong kialakulásához vezet. Ez valószínűleg nem fordult elő sem a GW200105, sem a GW200115 esetében, mert mindkét esetben túl nagy volt a fekete lyuk tömege, ezért ha már a két objektum szeparációja kellőképpen lecsökkent, a fekete lyuk úgy mond „egy falással lenyelte” a kísérőjét.

Először 1974-ben figyeltek meg kettős neutroncsillag-rendszereket a Tejútban, az úgynevezett rádiópulzárak által kibocsátott rádióhullámok pulzációjának megfigyelésével. „A csillagászok évtizedeket töltöttek a fekete lyukak körül keringő rádiópulzárak keresésével, de a Tejútrendszerben eddig nem találtak ilyet” – mondja a CNRS kutatója és a Virgo együttműködés tagja, Astrid Lamberts, aki Nizzában, az ARTEMIS és a Lagrange laboratóriumokban dolgozik. „A feketelyuk–neutroncsillag-pár valóban a »hiányzó láncszem« volt a csillagászok számára. Ezzel az új felfedezéssel végre megérthetjük, hogy hány ilyen rendszer létezik, milyen gyakran egyesülnek, és eddig miért nem láttunk ilyenekre példát a Tejútrendszerben.”

Két korábbi, GW190814 és GW190426 jelzésű gravitációshullám-jelet is NSBH-jelöltnek tekintettek, de nem elegendően magas megbízhatósági szint mellett.

„Sok munkát és jelentős számítási erőforrást szenteltek a paraméterbecslés céljára. A gravitációshullám-detektorok által rögzített adatok elemzésének egyik fő problémája a hasznos információk kihámozása az adatokból, hiszen ezek mindig keverednek a zajjal” – fűzte hozzá Giancarlo Cella, az INFN kutatója és a Virgo adatelemzési koordinátora. „A források tulajdonságaira vonatkozó legjobb becsléseket kell, hogy kapjunk, ugyanakkor meg szeretnénk tudni, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy az azonosított jel csak véletlenszerű ingadozás lehetett.”

## Egy új kozmikus tájkép megrajzolása

"Az a tény, hogy felfedeztünk háromféle kettős rendszert, segít azoknak az elméleteknek a kidolgozásában, amelyek következetesen magyarázzák mindegyikük tulajdonságait" - tette hozzá Astrid Lamberts. "Valójában ez a felfedezés lehetővé teszi számunkra az Univerzum legszélsőségesebb jelenségre vonatkozó ismereteinek elmélyítését, és segít jobban megérteni, hogy milyen mechanizmusok keltik őket."

A mai bejelentetés a Virgo és a LIGO által eddig elvégzett tucatnyi észlelése mellett lehetővé teszi számunkra az Univerzum legintenzívebb és legritkább jelenségeinek közeli megfigyelését, és példátlan képet rajzol azokról a zsúfolt és kaotikus régiókról, amelyek ezen események lehetséges környezetei. Ezenkívül azok a részletes információk, amelyeket a fekete lyukak és a csillagütközések fizikájáról kezdtünk gyűjteni, lehetőséget adnak arra, hogy extrém körülmények között teszteljük a fizika alaptörvényeit, amelyeket nyilvánvalóan soha nem fogunk tudni reprodukálni a Földön.

"A ma bejelentett felfedezés a harmadik LIGO-Virgo megfigyelési időszak egy újabb gyöngyszeme" - mondta Giovanni Losurdo, a Virgo szóvivője és az INFN kutatója. „A LIGO és a Virgo folyamatosan olyan katasztrofális ütközéseket észlel, amelyekre még soha nem volt példa ezelőtt, és egy teljesen új kozmikus tájat világít meg. Jelenleg a detektorok fejlesztése folyik azzal a céllal, hogy sokkal messzebbre nézzünk a kozmosz mélyébe, új drágaköveket, mélyebb megértést keressünk az Univerzumban, amelyben élünk. "



**Multimédiás anyagok:**

<https://bit.ly/3ja75hB>



### **Gravitációshullám-obszervatóriumok:**

A Virgo együttműködés jelenleg mintegy 700 tagból áll, 126 intézményből 15 különböző (főleg európai) országban. Az Európai Gravitációs Obszervatóriumot (EGO), ahol a Virgo detektor is működik Pisa mellett, Olaszországban, a franciaországi Centre national de la recherche scientifique (CNRS), az olaszországi Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) és a holland NIKHEF intézetek támogatják. A Virgo együttműködés tagjainak listája a <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration/> címen található. További információk a Virgo hivatalos honlapján található: <http://www.virgo-gw.eu>.

A LIGO-t az NSF támogatja és a Caltech, valamint az MIT egyetemek működtetik. Ez a két egyetem dolgozta ki a terveket és építette fel a detektort. A fejlesztett LIGO detektorok pénzügyi támogatását az NSF Németországgal közösen (Max Planck Society) biztosította, Egyesült Királyság (Science and Technology Facilities Council) és Ausztrália (Australian Research Council) pedig jelentős kötelezettségvállalásokkal és hozzájárulásokkal segítette a projektet. A világ minden tájáról közel 1300 kutató vesz részt a LIGO tudományos együttműködésben, amely magába foglalja a GEO kollaborációt is. A további partnerek listája megtalálható a <https://my.ligo.org/census.php> oldalon.

A 3 kilométeres karhosszúságú KAGRA lézertinterferométer a japán Gifuban, Kamiokában található. A projektet a Tokiói Egyetem Koszmosz Sugárkutatás Intézete (ICRR), a Japán Nemzeti Csillagászati Obszervatórium (NAOJ) és a High Energy Accelerator Research Organization (KEK) működtetik. A KAGRA építése 2019-ben fejeződött be, ezután csatlakozott a LIGO és a Virgo nemzetközi gravitációshullám-hálózatához. A tényleges adatfelvételt 2020. februárjában kezdték meg az O3b elnevezésű mérési időszak utolsó szakaszában. A KAGRA Tudományos gyűlés több mint 470 tagból áll, 14 ország/régió 115 intézetéből. A kutatók listája a <http://gwwiki.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/KAGRA/KSC/Researchers> webhelyről érhető el. A KAGRA információk a <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/> weboldalon található.

#### **Wigner FK médiakapcsolat**

Dovicsin-Péntek Csilla  
+36 30 487 9869  
pentek.csilla@wigner.hu

#### **Európai médiakapcsolat**

##### **EGO**

Vincenzo Napolano  
napolano@ego-gw.it  
+393472994985

##### **Virgo**

Livia Conti  
livia.conti@pd.infn.it

##### **CNRS, Franciaország**

Véronique Etienne  
veronique.etienne@cnrs.fr  
+33 1 44 96 51 37

##### **INFN, Olaszország**



Antonella Varaschin  
antonella.varaschin@presid.infn.it



**Nikhef, Hollandia**

Martijn van Calmthout  
martijn.van.calmthout@nikhef.nl  
+31 6 46637876

**Amerikai médiakapcsolat**

**Caltech**

Whitney Clavin  
wclavin@caltech.edu  
626-390-9601

**MIT**

Abigail Abazorius  
abbya@mit.edu  
617-253-2709

**NSF**

Josh Chamot  
jchamot@nsf.gov  
703-292-4489