

# A LIGO és a Virgo először észlelt neutroncsillagok összeütközéséből származó gravitációs hullámokat

Az első olyan kozmikus esemény felfedezése, amit gravitációs és elektromágneses hullámok segítségével is megfigyeltek.

**Magyar szöveg: Barta Dániel & Vasúth Mátyás (Wigner Fizikai Kutatóközpont)**

A kutatók először észleltek közvetlenül gravitációs hullámokat — fodrozódásokat a térben és az időben — a két neutroncsillag látványos összeütközése által keltett elektromágneses sugárzás mellett. Ez az első alkalom, hogy egy kozmikus eseményt mind gravitációs, mind elektromágneses hullámok segítségével is megfigyeltek.

A felfedezést az Amerikai Egyesült Államokban működő Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO); az európai Virgo detektor; és mintegy 70 földfelszíni és űrbeli megfigyelőközpont tette.

A neutroncsillagok a létező legkisebb és legsűrűbb ismert csillagok, amik nagytömegű csillagok szupernóva robbanásából keletkeznek. Miközben ezek a neutroncsillagok egymás felé spiráloztak, körülbelül 100 másodpercig mérhető gravitációs hullámokat bocsátottak ki. Amikor összeütköztek, gammasugarak formájában fényfelvillanást keltettek, ami a Földről körülbelül két másodperccel a gravitációs hullámok érkezése után volt látható. Az ütközést követő napokban és hetekben a fény vagy elektromágneses sugárzás más formáit — beleértve a röntgen-, ultraibolya-, optikai-, infravörös- és rádióhullámokat — észlelték.

A megfigyelések példátlan lehetőséget nyújtanak a csillagászok számára két neutroncsillag összeütközésének vizsgálatára. Például az Egyesült Államok Gemini obszervatóriumának, az európai Very Large Telescope-nak és a NASA Hubble űrtávcsövének megfigyelései frissen keletkezett anyagokat — beleértve az aranyat és a platinát — mutattak ki, megoldva minden a vasnál nehezebb anyag nagyjából felének évtizedes rejtélyét.

A LIGO-Virgo együttműködés eredményei ma jelennek meg a *Physical Review Letters* című folyóiratban; a LIGO-Virgo együttműködés és a csillagászati közösség a cikkeket vagy már benyújtotta vagy már megjelenésre el is elfogadták a különféle folyóiratok.

„Rendkívül izgalmas megtapasztalni egy olyan ritka eseményt, ami átalakítja a világegyetem működéséről alkotott képünket,” mondja France A. Córdova, a LIGO-t finanszírozó Nemzeti Tudományos Alap (NSF) igazgatója. „Ezzel a felfedezéssel sokunknak valósult meg az a hosszú távú célja, hogy egyszerre figyeljünk meg ritka kozmikus eseményeket hagyományos és gravitációshullám-obszervatóriumokkal. Csak az NSF gravitációshullám-obszervatóriumokba történő négy évtizedes beruházása folytán, a rádiótól a gamma-hullámhosszig érzékelő távcsövekkel párosítva, képesek vagyunk arra,

hogy kiterjesszük lehetőségeinket új kozmikus jelenségek észlelésére és arra, hogy friss nézőpontból tárgyaljuk a csillagok összeolvadásának fizikáját.”

## **Egy csillag jele**

A GW170817-nek nevezett gravitációshullám-jelet először augusztus 17-én, magyar idő szerint 14:41-kor észlelte a LIGO két detektor Hanfordban (Washington állam) és Livingstonban (Louisiana állam). A harmadik detektor; a Pisa (Olaszország) mellett található Virgo adatai lehetővé tették a kozmikus esemény helyének pontosabb meghatározását. Ebben az időben a LIGO második megfigyelési időszaka (O2) a végéhez közeledett, mivel a detektort az Advanced LIGO nevű program keretében fejlesztik, amíg a nemrégiben befejeződött fejlesztése nyomán az Advanced Virgo megkezdte első megfigyelési időszakát.

Az NSF által finanszírozott LIGO obszervatóriumokat a Caltech és az MIT tervezte, építette és üzemelteti. A Virgót az olaszországi Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) és a franciaországi Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) finanszírozza, és az Európai Gravitációs Obszervatórium működteti. A LIGO Tudományos Együttműködés és a Virgo Együttműködés összesen mintegy 1.500 kutatója dolgozik együtt a detektor működtetésén, valamint az általuk rögzített gravitációs-hullámadatok feldolgozásán és megértésén.

Mindegyik obszervatórium két darab hosszú, L-alakban elrendezett vákuumcsövekből áll, amelyek találkozásánál a lézersugár két részre oszlik. A lézerfény mindkét karon keresztülhalad, majd egy felfüggesztett tükör által visszaverődik abba az irányba, amelyikből érkezett. Gravitációs hullámok hiányában a lézerfény minden egyes karon pontosan ugyan annyi idő alatt tér vissza kiindulási pontba, ahol a lézersugár kettéoszlik. Ha egy gravitációs hullám áthalad az detektoron, megváltoztatja az egyes lézersugarak érkezési idejét, és szinte egy észrevehetetlenül kicsi megváltozást hoz létre a berendezés kimeneti jelében.

Augusztus 17-én a LIGO valós idejű adatelemző szoftvere egy űrből érkező erős gravitációs hullám jelére bukkant a két LIGO detektor egyikében. Szinte ugyanebben az időben a NASA Fermi űrtávcső gamma-sugárzást figyelő eszköze gamma-kitörést észlelt. A LIGO-Virgo adatelemző szoftvere összevetve a két jelet, megállapította, hogy rendkívül valószínűtlen a véletlen egybeesés. Egy további automatizált LIGO elemzés kimutatta, hogy a másik LIGO detektorban egy egyidejű gravitációs hullám jele volt látható. A LIGO-Virgo csapat által végzett gyors gravitációshullám-detektálás, a Fermi gammasugár-detektálásával kiegészítve lehetővé tette világszerte utólagos megfigyelését távcsövek segítségével.

A LIGO adatai azt mutatják, hogy két, a Földhöz viszonylag közel, nagyjából 130 millió fényév távolságra elhelyezkedő égitest egymás körüli keringését. Úgy tűnt, hogy az égitestek tömege nem volt olyan nagy, mint a kettős fekete lyukaké, amelyeket a LIGO és a Virgo már korábban felfedezett. Ehelyett az égitestek tömegét a Nap tömegének 1,1 – 1,6-szorosára becsülték. Ezek az értékek a neutroncsillagokra jellemző tartományba esnek. Egy

neutroncsillag kb. 20 km átmérőjű és olyan sűrű, hogy egy teáskanálnyi a neutron csillag anyagából körülbelül egymilliárd tonna tömegű lenne.

Míg a kettős fekete lyukak által keltett „chirp” jelek a LIGO érzékenységi sávjában egy másodperc töredékéig tartanak, az augusztus 17-i jel körülbelül 100 másodperc hosszú volt és megjelent a LIGO teljes frekvenciatartományában — nagyjából ugyanabban a tartományban, mint ahol a közönséges hangszerek szólnak. A kutatók olyan objektumokként tudták azonosítani a hullámjel forrását, amelyek sokkal kisebb tömegűek az eddig látott fekete lyukaknál.

„Azonnal rájöttünk, hogy a forrás valószínűleg neutroncsillag kettős lehet, a másik várva várt forrás, amelyet látni reméltünk — és ígértük a világnak, hogy látni fogunk,” mondja David Shoemaker, a LIGO Tudományos Együttműködés szóvivője és az MIT-hez tartozó Kavli Asztrofizikai és Űrkutatási Intézet vezető tudományos munkatársa. „Ez az igazán értékes esemény sok mindent elárul a neutroncsillagok belső működését és sugárzását leíró részletes modellektől kezdve, a fizikai alapkutatásokig, mint például az általános relativitáselmélet. Egy ajándék, ami még sok helyen lesz hasznunkra.”

„A részletes elemzés kimutatta, hogy egy ilyen erősségű esemény 80 000 évenként egyszer fordul elő véletlen egybeesés következtében. Így azonnal felismertük, hogy ez egy fontos esemény, ami egy rendkívül közeli forrásból származik,” teszi hozzá Laura Cadonati, Georgia Tech fizikaprofesszora és a LIGO Tudományos Együttműködés helyettes szóvivője. „Ez az észlelés teljesen új utakat nyitott az asztrofizikában. Arra számítok, hogy a történelem egyik leggyakrabban tanulmányozott asztrofizikai eseményeként fognak rá emlékezni.”

Az elméleti szakemberek megjósolták, hogy mikor neutroncsillagok ütköznek össze, gravitációs hullámokat és a gammasugarak keltenek erőteljes jetek kíséretében, amik fényt bocsájtanak ki az elektromágneses spektrumban. A Fermi által észlelt és a röviddel ezután az Európai Űrügynökség műholdja, az INTEGRAL által megerősített gamma-kitörés az, amit rövid gamma-kitörésnek neveznek. Az új megfigyelések megerősítik azt, hogy legalább néhány rövid gammakitörést neutroncsillagok összeolvadása során keletkezik — amit eddig csak feltételeztek.

„Évtizedeken keresztül azt gyanítottuk, hogy a rövid gammakitöréseket a neutroncsillagok összeolvadása kelti,” mondja Julie McEnery, a NASA Goddard Űrközpont Fermi Project kutatója. „Most, a LIGO és a Virgo ezt az eseményt rögzítő páratlan adataival, megkaptuk a választ. A gravitációs hullámok azt mondják nekünk, hogy az összeolvadó objektumok tömege megfelel a neutroncsillagok tömegének, és a gammakitörések azt sugallják, hogy objektumok valószínűleg nem fekete lyukak voltak, mivel a fekete lyukak összeütközése nem bocsájt ki fényt.”

„Úgy tűnik, hogy egy rejtély megoldódott, azonban újabb kérdések merültek fel. Az észlelt gammakitörés egyike a Földhöz legközelebb megfigyelt eseményeknek, ennek ellenére a jel meglepően gyenge volt a forrás távolságát tekintve. A kutatók modelleket dolgoznak ki

ennek leírására,” mondja McEnry, és hozzáteszi, hogy ennek megértésére várhatóan több évet kell várni.

## **Egy folt az égen**

Annak ellenére, hogy a LIGO detektorok először az Egyesült Államokban észlelték a gravitációs hullámot, az olaszországi Virgo detektor kulcsszerepet játszott a történetben. A forráshoz viszonyított elhelyezkedésének köszönhetően a Virgo detektor csak egy gyenge jelet észlelt, de a LIGO mérési adataival kiegészítve lehetővé tette, hogy a kutatók behatárolják a forrás égi helyzetét. Egy részletes vizsgálatot követően, ami kiszűrte, hogy az észlelt jel nem a berendezésektől származik, a kutatók megállapították, hogy a gravitációs hullám a deli égbolt egy viszonylag kis területéről származik.

„Az égi pozíció meghatározás ennél az eseménynél a legpontosabb az eddigi gravitációshullám-megfigyelések között,” mondja Jo van den Brand a Nikheftől (National Institute for Subatomic Physics, Hollandia) és az amszterdami VU Egyetemről, aki a Virgo Kollaboráció szóvivője. „Ez a rekord pontosság lehetővé tette a csillagászok számára az utólagos megfigyeléseket, amik számtalan lélegzetelállító eredményre vezettek.”

„Ez az eredmény nagyszerű példája a hatékony csapatmunkának, az összehangolás fontosságának és a tudományos együttműködés eredményének,” tesz hozzá az EGO igazgatója, Federico Ferrini. „Örömmel tölt el bennünket, hogy ennek a kivételes tudományos eredménynek fontos részesei voltunk: a Virgo nélkül nagyon nehéz lett volna a hullámforrás helyét meghatározni.”

A Fermi űrtávcső megadta a forrás helyzetét, amit később jelentősen finomított a LIGO és Virgo közösen végzett megfigyelése. Ezekkel a koordinátákkal, néhány órával később, több obszervatórium kezdte meg világszerte a forrás várható helyének megfigyelését. Az új, csillagra hasonlító fénypontot optikai teleszkópok találták meg. Összesen közel 70 földi és űrobzervatórium figyelte meg az eseményt a saját észlelési hullámhosszán.

„Ez a megfigyelés megnyitja az utat a régen várt többcsatornás csillagászat felé” mondja David H. Reitze, a Caltechről, Caltechről, aki a LIGO laboratórium ügyvezető igazgatója. „Ez az első eset, hogy egy kataklizmikus asztrofizikai eseményt egyszerre figyeltünk meg gravitációs és elektromágneses hullámok, a kozmikus hírvivőink segítségével. A gravitációshullám csillagászat egy új lehetőséget ad a neutroncsillagok tulajdonságainak megértésére, ami a hagyományos csillagászat számára nem megvalósítható.”

## **A tűzlabda és az utófény**

A hagyományos csillagászati obszervatóriumok saját megfigyeléseikről részletes leírást fognak közölni. Egy általános kép alakul ki eközben az érintett obszervatóriumok között, ami alátámasztja, hogy az eredeti gravitációshullám-jel valóban két összeolvadó neutroncsillagtól származik.

Közel 130 millió évvel ezelőtt a két neutroncsillag az egymás körüli keringésük utolsó pillanatait élte. Ekkor megközelítőleg 300 km távolságra voltak egymástól és sebességük növekedett, miközben távolságuk csökkent. Összeütközésük előtt, ahogy a csillagok egyre gyorsulva közeledtek egymáshoz, megrengették a környező téridőt és ezzel energiát sugároztak ki gravitációs hullámok formájában.

Az összeütközés pillanatában a két neutroncsillag egy nagy sűrűségű testté olvadt össze és gammasugarak egy tűzlabdája alakult ki. A gammakitörés és a gravitációs hullámok együttes megfigyelése alátámasztotta Einstein általános relativitáselméletét, ami szerint a gravitációs hullámok fénysebességgel haladnak.

Kutatók megjósolták, hogy a kezdeti „tűzgolyó” követően egy „kilonóva” alakul ki – egy olyan jelenség, amely során a neutroncsillagok összeolvadása után megmaradó fénylő anyag kikerül a közvetlen környezetbe és a távoli űrbe. Az új csillagászati megfigyelések megmutatták, hogy a nehéz elemek, pl. ólom és arany, ilyen összeütközésekben keletkeznek és szóródnak szét a világűrben.

Az előttünk álló hetekben és hónapokban a teleszkópok folytatják a neutroncsillag-összeolvadás utófényének megfigyelését, ezzel is további adatokat gyűjtve az összeolvadás szakaszairól, a környező anyaggal való kölcsönhatásról és arról a folyamatról, ami létrehozza az Univerzum legnehezebb elemeit.

„Amikor a 80-as évek végén terveztük a LIGO-t, már tudtuk, hogy végül szükségünk lesz az obszervatóriumok egy nemzetközi hálózatára Európa részvételével, ami elősegíti a gravitációshullámok-források helyének meghatározását. Ezáltal a hagyományos csillagászati távcsövek megfigyelhetik és tanulmányozhatják a mostanihoz hasonló neutroncsillag összeütközéseket” mondja Fred Raab, a Caltechről, a LIGO detektorműködésért felelős társigazgatója. „Mostanra elmondhatjuk, hogy a gravitációshullám-hálózatunk tökéletesen együttműködik a csillagászati obszervatóriumokkal a csillagászat egy új korszakának kezdetén. Mindezt javítani fogja a japán és indiai obszervatóriumok tervezett csatlakozása.

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, Anglia (Science and Technology Facilities Council) és Ausztrália (Australian Research Council) pedig jelentős kötelezettségvállalásokkal és hozzájárulásokkal segítette a projektet.

A világ minden tájáról több mint 1200 kutató és mintegy 100 intézmény vesz rész a LIGO tudományos együttműködésben, amely magába foglalja a GEO kollaborációt és az Ausztrál OzGrav kollaborációt is. A további partnerek listája megtalálható a <http://ligo.org/partners.php> oldalon.

A Virgo együttműködést több mint 280 fizikus és mérnök alkotja 20 európai kutatócsoportból: hat a Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) intézetéből Franciaországból, nyolc az Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) intézetéből Olaszországból, kettő a Nikhef intézetből Hollandiából, egy az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontból Magyarországon, a POLGRAV csoport Lengyelországból, a valenciai csoport Spanyolországból és az Európai Gravitációs Obszervatórium (EGO), ahol a Virgo detektor is működik Pisa mellett Olaszországban a CNRS, INFN és a Nikhef támogatásával.

###

*Írta Jennifer Chu, MIT News Office*

### **KAPCSOLÓDÓ LINKEK**

Tudományos cikk: „GW170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star merger.”

\*\* A cikk elérhető online 2017. október 16-én 16.00 órától