

35 új téridő rengést fedezett fel a Virgo és a LIGO

A LIGO és a Virgo által a legutóbbi megfigyelési időszakban észlelt 35 új eseménynek köszönhetően az eddig észlelt gravitációshullám-jelek száma 90-re emelkedett. Ezek az események olyan téridő-rengések, amelyeket két fekete lyuk vagy két neutroncsillag, vagy egy vegyes feketelyuk–neutroncsillag-pár összeolvadása kelt. A ma közzétett adatsor, az ún. harmadik gravitációshullám-katalógus, a fekete lyukak új populációjának jellemzőit is felvázolja, amelyek tömege a megfigyelt neutroncsillagok tömegével együtt kulcsfontosságú támpontokat ad arról, hogy hogyan élnek és halnak meg a csillagok, tovább tágítva ezzel a gravitációshullám-csillagászat látókörét.

A 2019 novembere és 2020 márciusa között, a LIGO–Virgo harmadik, egyben legutóbbi megfigyelési időszakának (O3b) második felében észlelt 35 új eseménynek köszönhetően összesen 90-re növekedett a három interferometer globális hálózata által megfigyelt gravitációshullám-jelek száma.

A legtöbb új jel két összeütköző fekete lyuk örvénylő, spirális mozgásából származik: kozmikus rengések, amelyek megrezgetik a téridő szerkezetét és erőteljes gravitációs hullámokat keltenek. Két további eseményt – az egyikről már tavaly júniusban beszámoltak – egy neutroncsillag és egy fekete lyuk összeolvadásaként azonosítottak. Ilyen típusú hullámforrásokat először a legutóbbi LIGO–Virgo megfigyelési időszak alatt észleltek. Egy további, 2020 februárjában megfigyelt összeolvadás pedig származhat akár egy feketelyuk-párból, akár egy vegyes feketelyuk–neutroncsillag-kettősből. A könnyebb objektum tömege ugyanis egy olyan tartományba esik, az ún. „tömeghézagba”, amelyben a gravitációs hullámok megfigyelése előtt nem számítottak arra, hogy akár neutroncsillagok, akár fekete lyukak kialakulhatnak, és amely továbbra is rejtély a tudósok számára.

Ezeket az új észleléseket a Virgo, a LIGO és a KAGRA tudományos együttműködések ma tették közzé a tranziens gravitációshullám-források harmadik katalógusában (GWTC-3), ami az [arXiv.org online archívumban](https://arxiv.org) érhető el. A katalógust két másik publikáció is kíséri, amelyek az eredmények kozmológiai és asztrofizikai következményeivel foglalkoznak.

Amint a detektor adatelemző rendszere egy jelet potenciális asztrofizikai eseményként azonosít, a kutatók újraellenőrzik, majd szinte valós időben nyilvánosságra hozzák a gravitációshullám-forrás égi pozíciójáról és jellegéről (pl. feketelyuk-, neutroncsillag- vagy vegyes pár) szóló előzetes információkat. Ezek az „rövid várakozási idejű” riasztások (low-latency alerts) lehetővé teszik a többcsatornás jelek nyomon követését, azaz a földi- vagy az űrtávcsövek által a gravitációshullám-forrás által más csatornán kibocsátott, különböző típusú jelek (pl. elektromágneses jelek és neutrínók) keresését.

A legutóbbi megfigyelési időszakban a LIGO és a Virgo együttműködés 39 potenciális gravitációshullám-eseményekhez kapcsolódó valós idejű riasztással szolgált a tudományos közösség számára. E jelöltek közül 18-at erősítettek meg, majd ez a szám további 17 eseménnyel bővült az adatok utólagos elemzését követően. Ezeknek a teljesebb és finomabb elemzéseknek az eredményei lettek ma közzétéve a GWTC-3 katalógusban. Ugyanakkor többcsatornás jelet, ami más elektromágnes- vagy neutrínó-sugárzás révén is megfigyelhető lenne, ez idáig nem sikerült kimutatni.

„Az adatok utólagos elemzése a megfigyelési időszak befejezése után még hónapokig tartott, mivel az adatok kalibrálása és elemzése a különböző kutatócsoportok hosszú és összetett munkáját igényelte, akik párhuzamosan dolgoztak és eltérő elemzési technikákat

alkalmaztak” – nyilatkozta Viola Sordini, a CNRS kutatója, a lyoni Institut de Physique des deux Infinis munkatársa. „Bizonyos esetekben valóban olyan jeleket keresünk az adatokban, amelyek a lehető legjobban hasonlítanak az elméleti modellek által megjósolt hullámformákra. Más csoportok ehelyett részletesen megvizsgálják és elemzik a jeleknek a detektorok háttérzajából származó összes jellemzőjét referenciaként használt hullámformák használata nélkül. Ez egy olyan rendkívül intenzív tevékenység, amellyel a világ minden tájáról származó kutatók százait foglalkoznak.”

Ezzel egyidejűleg a LIGO, a Virgo és a KAGRA tudományos együttműködések ma tették közzé a LIGO és a Virgo detektorok által 2019 novemberétől 2020 márciusáig rögzített teljes kalibrált adatsorait. Ez a teljes kutatóközösség számára lehetővé teszi, hogy független elemzéseket és ellenőrzéseket végezzen, maximalizálva a tudományos eredmények gazdagságát.

A gravitációs csillagászat új horizontja

A ma közzétett katalógus és másik két publikáció egyedülálló képet ad az extrém kozmikus eseményekről, és bemutatja a feketelyuk-populációk jellemzőit, új rekordokat és határokat szabva a fekete lyukak és neutroncsillagok tömegére vonatkozóan.

Az összeolvadások során keletkezett fekete lyukak közül több is meghaladja Napunk tömegének százszorosát, és a köztes tömegű fekete lyukak közé sorolhatóak. Ez a fajta fekete lyuk nagy érdeklődésre tarthat számot, mivel kulcsszerepet játszhat a galaxisok középpontjában található szupermasszív fekete lyukak kialakulásában. Ezekről több asztrofizikai elmélet is született, és a LIGO–Virgo–KAGRA együttműködés által észlelt gravitációshullám-jelekkel most először sikerült közvetlenül kimutatni őket.

Ráadásul az egyik összeolvadásban egy nagytömegű fekete lyuk (Napunk tömegének mintegy 33-szorosa) és egy nagyon kis tömegű neutroncsillag (Napunk tömegének mintegy 1,2-szerese) olvadt össze. Ez az egyik legkisebb tömegű neutroncsillag, amelyet akár gravitációs hullámok, akár elektromágneses megfigyelések segítségével valaha is észleltek.

Végül van egy olyan kettős rendszer, amelyről a tudósok nem tudják biztosan meghatározni, hogy a legkönnyebb komponens neutroncsillag vagy fekete lyuk. Zavarba ejtő a 2,8 naptömegnek megfelelő tömege, mivel a tudósok szerint a legnagyobb tömegű neutroncsillag a Napunk tömegének körülbelül 2,5-szerese lehet. Elektromágneses megfigyelésekkel azonban még nem fedeztek fel körülbelül 5 naptömegnél kisebb tömegű fekete lyukat.

Általánosságban elmondható, hogy a fekete lyukak és neutroncsillagok tömegének megfigyelt eloszlása megkérdőjelezi azokat az asztrofizikai modelleket, amelyek az olyan csillagok fejlődését és halálát jellemzik, amelyekből ezek a csillagok származnak. Ezen túlmenően az észlelt források fizikai tulajdonságai új támpontokat nyújtanak arról, hogy milyen asztrofizikai környezetben jöhetnek a legnagyobb valószínűséggel létre a vizsgált extrém kozmikus események: csillagok sűrű környezeteiben, például gömbhalmazokban, fiatal halmazokban vagy akár az aktív galaxismagok akkréciós korongjaiban.

„Még mindig élénken emlékszem mindannyiunk lelkesedésére, amikor 2016 elején hallgattuk a gravitációs hullámok első közvetlen felfedezésének nyilvános bejelentését” – mondta Edoardo Milotti, a Virgo együttműködés tagja, aki a Trieszti Egyetem és az INFN kutatója. „Most, kevesebb, mint hat évvel később, a GWTC-3 katalógusban bejelentett felfedezések újabb értékes információkkal gazdagítják a gravitációs hullámok új, egyre növekvő területét, és új perspektívát nyújtanak a világegyetem számos aspektusára, mint például a kettős fekete lyukak vagy neutroncsillagok populációjára.”

A legutóbbi megfigyelési időszak adatainak köszönhetően a LIGO, a Virgo és a KAGRA kutatói

a gravitációs hullámok jeleit arra is fel tudták használni, hogy tovább növeljék a Hubble-állandó (az Univerzum tágulási sebességének) mérési pontosságát. Ez egy új módszert jelent a kizárólag elektromágneses jeleken vagy a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzáson alapuló becslésekkel szemben. A legközvetlenebb módszer, amelyhez elektromágneses megfelelővel rendelkező gravitációshullám-eseményekre van szükség, nem volt lehetséges, mivel a gravitációs hullámokkal együtt nem észleltek elektromágneses jeleket. A megfigyelt jelek nagy száma azonban lehetővé tette, hogy statisztikai megközelítéssel mégis meg lehessen becsülni a tágulási sebességet.

A jövő

Néhány év alatt, az első észleléstől a havonta számos esemény megfigyeléséig nagyon jelentős előrelépést értek el a gravitációs hullámokkal foglalkozó kutatók. Ez a folyamatos technológiai fejlesztéseknek köszönhető, amelyek az első úttörő műszereket egyre érzékenyebb detektorokká alakították át. A technológiai korszerűsítések és üzembe helyezés eredményeként a detektorok érzékenységének fejlődése jelentős, tekintve, hogy a ma közzétett 90 gravitációs hullám eseményből 79 kizárólag a legutóbbi, 2019 áprilisától 2020 márciusáig tartó megfigyelési időszakból származik.

A LIGO és a Virgo obszervatóriumokat jelenleg is fejlesztik, és a következő, negyedik megfigyelési időszakot 2022 második felében még nagyobb érzékenységgel kezdik majd meg. Ezzel a növekedéssel a korábbinál csaknem tízszer nagyobb térfogatot figyelhetnek meg Univerzumból, és ezért sokkal nagyobb valószínűséggel észlelhetnek majd gravitációshullám-jeleket.

„A Virgo egyéb fejlesztései mellett beépítettünk egy további optikai kamrát (az ún. jelűjrahasznosító kamrát), amely lehetővé teszi a detektor érzékenységének javítását magas frekvenciákon” – mondta Sebastian Steinlechner, a maastrichti egyetemi adjunktusa, a Nikhef munkatársa. „Ez lehetővé teszi, hogy a detektor megnövekedett érzékenységgel »hallgassa« az összeolvadó kettősök életének utolsó szakaszát, amikor két fekete lyuk vagy csillag egyé olvad.”

A japán KAGRA detektor üzembe helyezése folyamatban van, és tervezik, hogy csatlakozzon a következő megfigyelési időszakhoz. A közös adatgyűjtésre alkalmas detektorhálózat bővülése tovább növeli a forrás helymeghatározásának pontosságát, ami kulcsfontosságú a többcsatornás csillagászat jövőbeli fejlesztései szempontjából.

„Az új cikkek azt mutatják, ahogy a Virgo, a LIGO és a KAGRA egy új szakaszba lép” – mondta Giovanni Losurdo, a Virgo szóvivője és az INFN kutatója. „Az elszigetelt események felfedezésétől és megfigyelésétől a populációvizsgálatokig egy hatékony megfigyelési módszer a sötét univerzum természetének vizsgálatára. Ez a változás még jelentősebb lesz a következő megfigyelési időszak során, amikor a közelmúltbeli fejlesztéseknek köszönhetően akár napi egy esemény észlelésére is számíthatunk.”

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 találhatók: <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 lézerinterferométer a japán Gifuban, Kamiokában található. A projektet a Tokiói Egyetem Koszmosz Sugárkutatás Intézete (ICRR), a Japán Nemzeti Csillagászati Observatórium (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/IGWwiki/KAGRA/KSC/Researchers> webhelyről érhető el. A KAGRA információk a <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/> weboldalon találhatóak.

Wigner FK médiakapcsolat

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

Eötvös Loránd Tudományegyetem, LIGO tagcsoport

Csoportvezető: Frei Zsolt
Tel.: +36-1 372-2767
Email: frei@alcyone.elte.hu
Web: egrg.elte.hu

Szegedi Tudományegyetem, LIGO tagcsoport

Csoportvezető: Gergely Árpád László
Honlap [ITT](#)