

Gravitációs hullámok, fekete lyuk-kettősök és „préselt” fény

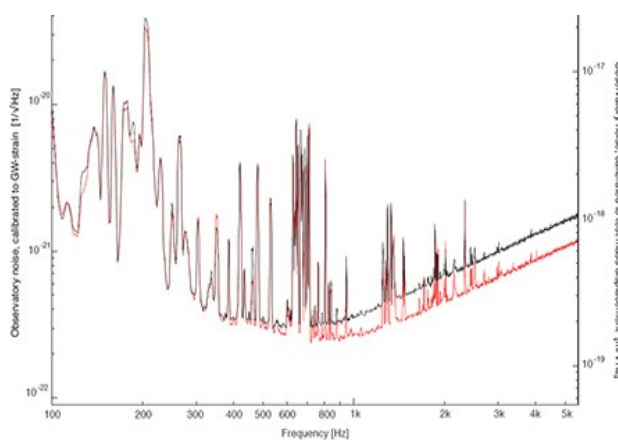
2012.02.06.

A LIGO Tudományos Kollaboráció a Nature Physics folyóiratban számolt be a GEO600 gravitációshullám-detektorban sikeresen alkalmazott, ún. préselt fény segítségével elért 50%-os érzékenység-növekedésről. A módszer forradalmasítja a gravitációs hullámok detektálását. A közlemény társszerzője az SZTE TTIK Fizikus Tanszékcsoport két munkatársa, Gergely Árpád László és Keresztes Zoltán is.

Az általános relativitáselmélet szerint a gravitáció nem más, mint a téridő görbülete. A gravitációs hullám a görbületben jelentkező, fénysebességgel terjedő, periodikus perturbáció, „hepehupa a téridő görbületében”. Gravitációs hullám akkor keletkezik, ha egy fizikai rendszer a gömbszimmetriától jelentősen eltér, és az eltérést kifejező ún. kvadrupól-momentum időben nemlineárisan változik. Bármilyen, közös tömegközéppontja körül keringő kettős rendszer teljesíti ezt a feltételt, de a keletkező gravitációs hullám akkor a legerősebb, ha fekete lyukak kettős rendszere hozza azt létre.

Bár létezésüket közvetetten bizonyította a Hulse–Taylor-pulzár több évtizedes megfigyelése (Nobel-díj, 1993), a gravitációs hullámok közvetlen észlelése mai napig várat magára. Ennek oka, hogy a Földre érkező gravitációs hullámok igen gyengék, az észlelésükhöz szükséges rendkívül érzékeny detektorok technikai megvalósítása csak napjainkra vált lehetségessé. Az USA-ban található két **LIGO** (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) berendezés, valamint a francia-olasz **VIRGO** detektor Michelson-típusú, 4 illetve 3 kilométer karhosszúságú lézer-interferométerek, melyek a vákuumban felfüggesztett tükrök közti távolságok 10^{-21} nagyságrendű relatív megváltozásának kimutatására képesek a néhány száz hertzes frekvenciatartományban. Abból, hogy gravitációs hullámot nem sikerült eddig kimutatni, az adott frekvenciájú gravitációs sugárzást kibocsátó asztrofizikai források gyakoriságára vonatkozó korlátok származtatására nyílt lehetőség.

A gravitációs hullámok első közvetlen kimutatásához, majd a heti, napi rendszerességű későbbi észlelésekhez az érzékenység további javítása szükséges. Ezért jelenleg az említett nagy detektorok átépítése folyik, melynek során tökéletesítik a szeizmikus szigetelést, a vákuum-technikát, az optikát. Az észlelést egyéb zajforrások mellett az elektromágneses tér vákuum-fluktuációi is megnehezítik. Ezt sikerült lényegesen csökkenteni az ún. „préselt fény” használatával a **LIGO Tudományos Kollaboráció** által működtetett németországi **GEO 600** méteres karhosszúságú detektorában. A Heisenberg-féle határozatlansági elv értelmében a lézertény intenzitása (amplitúdója) és színe (fázisa) tetszőlegesen pontosan egyidőben nem rögzíthető. A GEO600 méréseihez elegendő viszont az intenzitást igen pontosan beállítani, ennek ára tehát az, hogy a nyaláb „sokszínűbbé” válik. Az ilyen módon preparált fény a préselt fény, melyet első ízben sikerült laboratóriumi körülményeken kívül alkalmazni – az eredmények a [Nature Physics](#) hasábjain jelentek meg 2011 decemberében.

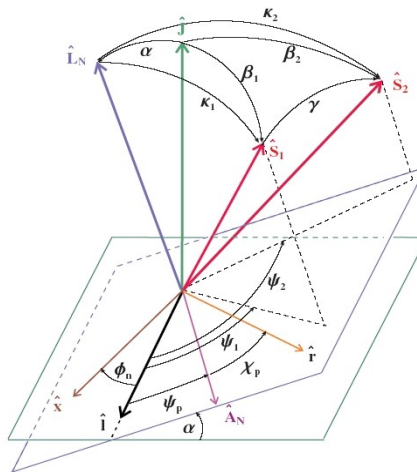
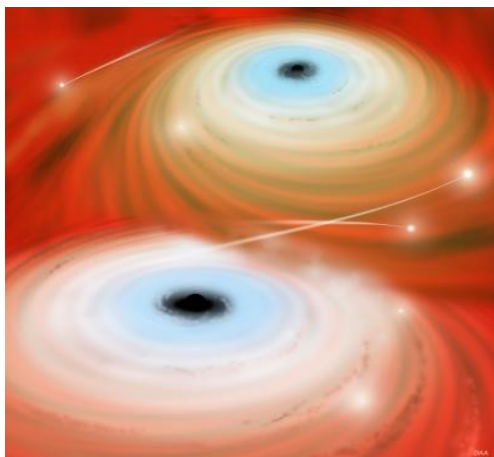


A GEO600 detektor érzékenységét jellemző ún. zajgörbe normál és „préselt” fény alkalmazása esetén – fekete, illetve piros görbeként (<http://www.geo600.org>).

A jelenlegi detektorok fejlesztése mellett már javában zajlik a következő generációs gravitációshullám-obszervatóriumok tervezése és előkészítése is. A 2020-as évekre várható a földalatti Einstein Obszervatórium megépítése (ennek egyik lehetséges helyszínéeként hazánk, pontosabban Gyöngyösoroszi-Ércbánya térsége is felmerült), valamint a több millió km-es karhosszúságú űrinterferométer, a *LISA* (*Laser Interferometer Space Antenna*) program európaivá honosított változata, az *eLISA* felbocsátása is.

A LIGO Tudományos Kollaboráció több száz tagot számláló nemzetközi tudományos közösség, melyben a műszerek tervezése, működtetése, az adatfeldolgozás, a gravitációs hullámforrások elméleti modellezése, a jelkeresés és a programozói munka egyaránt szerephez jut. Magyarországi tagja az *Eötvös Gravity Research Group* konzorcium. Ennek részeként a **Dr. Gergely Árpád László** (*SZTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék / Kísérleti Fizikai Tanszék*) által koordinált SZTE-s kutatócsoport feketelyuk-kettősök gravitációs hullámainak modellezésével, a források paraméterbecslésével és a hullámformák programozásával vesz részt. A szegediek a LIGO Tudományos Kollaboráció mellett 2010 óta a *Black Holes in a Violent Universe* EU-kollaborációnak is tagjai.

A csoport – melyben **Dr. Gergely Árpád László** és **Dr. Keresztes Zoltán** mellett PhD-hallgatók és diplomamunkások is dolgoznak – különböző gravitációelméleti és kozmológiai területeken végez elméleti és modellalkotói munkát, neves külföldi egyetemek és intézetek szakembereivel együttműködve. Egyik fő témájuk a szupernehéz (több millió, vagy akár több milliárd naptömegű), illetve csillagméretű feketelyuk-kettősök gravitációs hullámformáinak programozása, melynek részeként többek között forgó feketelyuk-kettősök bonyolult dinamikáját is modellezik. Bár a gravitációs hullámok detektálására valószínűleg még éveket kell várni, a különböző jelalakok modellezésének hosszas folyamatát már most intenzíven kell végezni, hogy a következő generációs műszerekkel várható észlelési adatosorokból sikerüljön kiszűrni a valós asztrofizikai forrásokra utaló eseményeket.



Balra: Illusztráció egy fekete lyukakból álló kettős rendszerről (D. A. Aguilar, Center for Astrophysics, Cambridge, USA). **Jobbra:** Példa a forgó feketelyuk-kettősök bonyolult dinamikájának geometriai modellezésére (Gergely Á. L., 2010, *Physical Review D*, 81, 084025).