

JEGYZET A LIGO MÁSODIK GRAVITÁCIÓSHULLÁM-ÉSZLELÉSÉHEZ

BÉCSY BENCE

egyetemi hallgató

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Eötvös Gravity Research Group (EGRG, <http://egrg.elte.hu>)

Email: becsybence@caesar.elte.hu

Honlap: becsybence.web.elte.hu

2016. JÚNIUS 15.

- 2015. december 26-án, karácsony másnapján, magyar idő szerint reggel 04:38:53-kor (03:38:53 UTC) mindkét LIGO detektor jelet rögzített, mindössze 1 ezredmásodperc (1.1 ms) időkülönbséggel. A jel hivatalos neve GW151226, de gyakran hivatkoznak rá „Boxing Day” esemény néven is, ami karácsony másnapjának hagyományos angol elnevezésére utal.
- Az Advanced LIGO detektorok az első észlelési időszakban (first observing run, O1) működtek, és az észlelés mindkét detektor esetében több órás stabil adatgyűjtési üzem közben történt. Az O1 észlelési időszak 2015. szeptember 12-től 2016. január 19-ig tartott.
- A bespirálózó kettősöket kereső, valós időben működő keresőprogramok a jel beérkezését követően mindössze 70 másodpercen belül megtalálták a GW151226 jelet.
- A GW151226 jelnek sokkal kisebb jel-zaj aránya volt ($SNR \approx 13$), mint a GW150914 jelnek ($SNR \approx 24$), mégis a detektálás szignifikanciája (5σ) alig marad el a szeptemberi eseményétől ($5,1\sigma$). Ez annak köszönhető, hogy a GW151226 észlelése sokkal hosszabb (4 hónapnyi) adatszakaszban történt, míg a GW150914 jel észlelése csupán az első 1 hónapnyi adat feldolgozásának eredménye.
- A független keresőprogramok egybehangzóan egy bespirálózó, majd összeolvadó feketelyuk-kettős gravitációshullám-jelének észlelését jelezték. Az észlelt hullámforma összhangban van Einstein általános relativitáselméletének jóslatával.
- A GW151226 jele szemmel gyakorlatilag észrevehetetlen a háttérzajban, szemben a közel azonos szignifikanciával észlelt GW150914-gyel, ahol látható volt a bespirálózás és az összeolvadás is. Ennek az az oka, hogy a GW151226 energiája mintegy 5-ször hosszabb időre oszlik el. Az a tény, hogy a GW151226 nem látható szabad szemmel, jól demonstrálja, hogy milyen hatékonyak a feketelyuk-kettősöket kereső programok.
- A LIGO kb. 1 másodpercig észlelte a GW151226 jelet. Ezalatt a gravitációshullám-jel kb. 55 perióduson ment keresztül, mialatt kb. 27-szer kerültk meg egymást a fekete lyukak. A jel frekvenciája eközben 35 Hz-ről 430 Hz-re növekedett.
- A kettősrendszer fejlődésének három fázisa közül jelen esetben a bespirálózás volt a legpontosabban megfigyelhető, míg az összeolvadás és a lecsengés kevésbé. Ez annak tudható be, hogy a LIGO detektorok 100 Hz és 300 Hz között a legérzékenyebbek, és míg

a GW150914 jelnél már 250 Hz-nél összeolvadtak a fekete lyukak, addig a GW151226-nál a jel már 450 Hz frekvenciájú volt az összeolvadáskor, ahol már kevésbé érzékenyek a detektorok.

- Mivel a bespirálózás volt a legpontosabban megfigyelhető, az összeolvadás és lecsengés kevésbé, a tömegeknek csak egy speciális kombinációja, az ún. chirp tömeg (chirp mass) volt pontosan meghatározható ($8,9^{+0,3}_{-0,3}$ Naptömeg), míg a két fekete lyuk tömegének arányáról csak azt lehet mondani, hogy nagyobb mint 0,28.
- A kettősrendszer becsült távolsága kb. 1,4 milliárd fényév (440^{+180}_{-190} Mpc = [250; 440; 620] Mpc = [815 millió; 1,43 milliárd; 2,02 milliárd] fényév).
- A két fekete lyuk becsült tömege $14,3^{+8,2}_{-3,7}$ és $7,5^{+2,3}_{-2,3}$ Naptömeg. Az átmérőjük kb. 84,5 km és 44 km. Az összeolvadásukból keletkezett fekete lyuk $20,8^{+6,1}_{-1,7}$ Naptömegű. A két fekete lyuk a bespirálózás és összeolvadás alatt $1,0^{+0,1}_{-0,2}$ Naptömegnek megfelelő energiát sugárzott szét. Ez 1/3-a a GW150914 jel forrása által kisugárzott energiának.
- A GW151226 észlelésével két olyan tömegű fekete lyuk összeolvadását figyeltük meg, amelyek létezésére már korábban, röntgensillagászati megfigyelések alapján következtetni lehetett (röntgenkettősök). Ezzel szemben az elsőnek észlelt GW150914 jel forrása két olyan nagy tömegű fekete lyuk volt, amilyenek megfigyelésére korábban nem volt példa.
- Számítások szerint kb. 4% esély van arra, hogy a kisebbik fekete lyuk tömege 3 és 5 Naptömeg között volt. Ha a fekete lyuk tömege valóban e határok közé esett, az azért lenne érdekes, mert 5 Naptömeg alatt fekete lyukat, 3 Naptömeg felett pedig neutroncsillagot még nem sikerült megfigyelni soha, így úgy tűnik, hogy 3 és 5 Naptömeg között semmilyen kompakt objektum nincsen.
- Szemben a GW150914 jellel, ahol csak az összeolvadás után megmaradt fekete lyuk perdületét (spinjét) lehetett meghatározni, itt az összeolvadó két fekete lyuk spinjéről is tudunk valamit mondani. Azt lehet tudni, hogy legalább az egyik fekete lyuk forog (van spinje), és a spinje legalább 1/5-e az adott tömegű fekete lyukaknál lehetséges legnagyobb értéknek.
- A GW150914, a GW150226, és az LVT151012 jelű harmadik, alacsonyabb szignifikanciájú októberi esemény együttes kiértékeléséből meg lehetett becsülni, hogy milyen gyakoriak a feketelyuk-összeolvadások a világegyetemben. Ez alapján a következő észlelési időszakban várhatóan 3-90 közötti ilyen összeolvadást tud majd észlelni az Advanced LIGO, és közel 100% annak a valószínűsége, hogy legalább 1-et észlelni fog majd. Ez azt is jelenti, hogy amikor a detektorok pár év múlva elérik a tervezett érzékenységüket, akkor nagy valószínűséggel képesek lesznek majd az egyedileg nem észlelhető feketelyuk-összeolvadások okozta gravitációshullám-háttér észlelésére is.

- Jelenleg viszonylag keveset tudunk arról, hogy milyen tömegű fekete lyukból mennyi létezik a világegyetemben. Szintén mindhárom jel adatait kiértékelve az erről alkotott elképzeléseinket is pontosítani tudtuk.
- A GW151226 jel forrását a GW150914 jeléhez hasonlóan igen nagy égterületre lokalizálták. Először 3 percen belül egy 1400 négyzetfokos égterületet sikerült beazonosítani, majd pontosítások után később ezt egy 850 négyzetfokos területre csökkentették (a GW150914-hez rekonstruált égterület 600 négyzetfok területű volt). Az ELTE LIGO tagcsoportja¹ fejlesztette a LIGO Kollaboráció által használt galaxiskatalógust², amivel (1) a forráspozíció meghatározását pontosítjuk (források galaxisokban vannak, a rekonstruált égterületeken belül a galaxisok akár 1000-szer kisebb égterületet foglalnak el), (2) lehetséges forrásgalaxisokat azonosítunk (sorba rendezve őket annak valószínűsége szerint, hogy ők a forrásgalaxisok), amiket (3) az észlelés után elektromágneses teleszkópok irányítottan megfigyelnek, utófényt keresve. A most rekonstruált égterület mindhárom célra használhatatlanul nagy, benne túl sok galaxissal, ráadásul két fekete lyuk összeolvadásából utófény se várható. Az égterület jelentősen kisebb lehetne, ha a két LIGO detektor mellett az olaszországi Virgo detektor is működött volna.

További információk magyarul:

A LIGO Kollaboráció magyar nyelvű honlapja: <http://ligo.elte.hu>

Információk az Eötvös Gravity Research Group magyar LIGO tagcsoportról: <http://egrg.elte.hu>

Kérdés-válasz videók a LIGO első (GW150914 jelű) felfedezéséhez: <http://gravitacioshullam.hu>

További információkért forduljanak az Eötvös Gravity Research Group szakembereihez! Elérhetőségek: <http://egrg.elte.hu/?page=contacts>

¹ Az ELTE LIGO tagcsoportjának honlapja: <http://egrg.elte.hu>

² A galaxiskatalógus projekt honlapja: <http://aquarius.elte.hu/glade/>