

GW231123: GRAVITAATIOAALLOILLA HAVAITTU MASSIIVISIN KAHDEN MUSTAN AUKON TÖRMÄYS

23. marraskuuta 2023, klo. 13:54:30 UTC, LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) kollaboraatio havaitsi gravitaatioaallon GW231123, joka on todennäköisesti lähtöisin törmäyksestä kahden mustan aukon välillä joiden yhdistetty massa on korkein, jonka LVK on ikinä havainnut. Näiden mustien aukkojen [pyörimismäärät \(spinit\)](#) näyttäisivät olleen poikkeuksellisen korkeat ja niiden yhteismassa vaikuttaisi olleen alueella, joka haastaa nykyiset teoriat siitä, miten massiiviset tähdet kehittyvät ja kuolevat.

SIGNAALIN HAVAINTO

Hanfordin ja Livingstonin kaksi Advanced LIGO observatoriota havaitsivat tämän gravitaatioaallon LVK:n neljännen [havaintokauden](#) ensimmäisen osan (O4a) aikana. Kahden observatorion yhtenäisyys oli olennainen varmistamaan havainnon luotettavuuden. Kuten **Figure 1** näyttää, signaali kesti noin sekunnin kymmenesosan mutta erottui selvästi noin **20 kertaa kovempaa** kuin tyypillinen observatoriokohina. Varmistaaksemme ettei tämä ole vain vahingollinen häiriö datassa, suoritimme huolellisia tilastollisia tarkistuksia. Simuloimalla tuhansien vuosien verran keinotekoista dataa osoitimme, että todennäköisyys sille, että satunnainen kohina jäljittelisi GW231123:ta, on alle 1:10,000 vuodessa! Tämä luo äärimmäisen varmuuden ettei signaali ole maalta peräisin, ja että tämä todella on gravitaatioaalto-signaali.

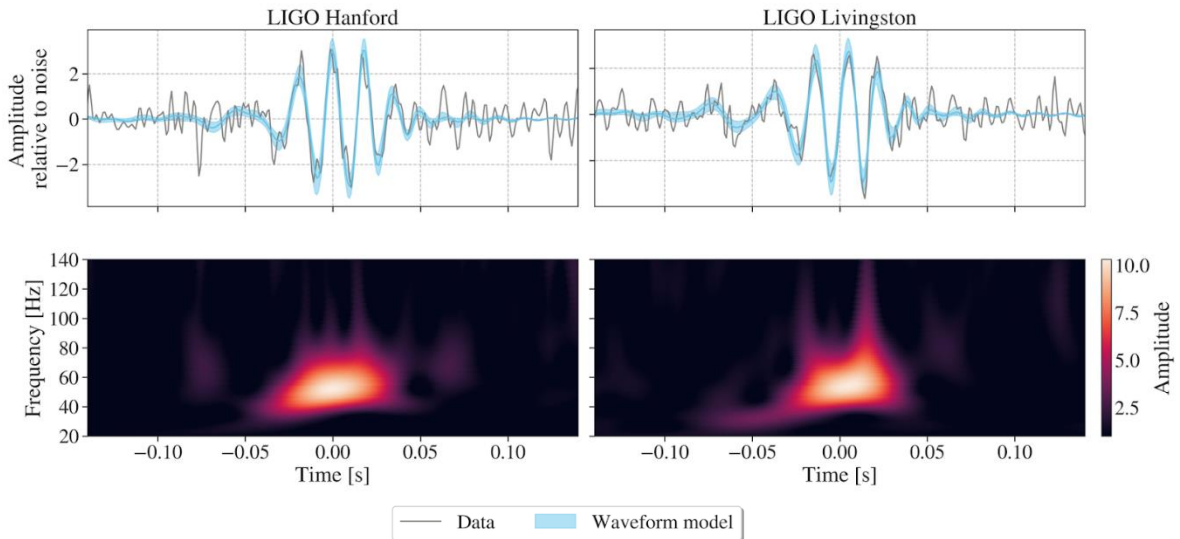


Figure 1: GW231123 signaalidata LIGO Hanford (vasen) ja LIGO Livingston (oikea) observatorioissa. Ylimmät paneelit näyttävät signaalin amplitudin (vahvuuden) ajan funktiona (harmaat viivat). Sinisellä värjätty alue esittää meidän arvon oikeasta signaalista. Alimmat paneelit ovat spektrogrammeja, eli aika-taajuus kartoituksia, jotka näyttävät signaalin amplitudin ajan (vaakatasoakseli) ja taajuuden (pystysuora-akseli) mukaan.

SIGNAALIN LÄHDE

Data viittaisi vahvasti, että signaali on peräisin [kahden mustan aukon rajusta törmäyksestä](#). Ymmärtääksemme enemmän näistä mustista aukoista—kuten miten massiivisia ne ovat ja kuinka nopeasti ne pyörivät—me käytimme monta [Einsteinin yleisen suhteellisuusteoriaan](#) perustuvia malleja simuloimaan, miltä samanlainen signaali näyttäisi erilaisille musta-aukko pareille.

Vertaamalla dataa näihin malleihin, päättelimme että nämä mustat aukot panoivat noin 137 ja 103 kertaa [auringon massa](#)an verran. Mukaan lukien kaikki epävarmuudet, niiden yhteismassa on todennäköisesti noin 190 ja 265 auringon massan välillä, siten syösten [GW190521](#):n valtaistuimeltaan painavimpana tähän asti havaittuna musta-aukkoparina.

ENEMMÄN TIETOA:

Vieraile www.ligo.org
sivuillamme: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Ja jos tämä ei itsestään ole jo tarpeeksi vaikuttavaa, molemmat mustat aukot vaikuttaisivat pyörineen melkein niin nopeasti kuin on teoreettisesti arveltu mustien aukkojen voivan pyöriä, **joten GW231123:llä olisi sekä korkein massa että spin kaikista tähän asti luotettavasti havaituista musta-aukkopareista.**

Törmäys loi mustan aukon, jonka massa on varmaan 182 ja 251 auringon massan välillä. Tämä asettaa mustan aukon harvaan musta-aukkokategoriaan nimeltään [keskitasonmassaiset mustat aukot](#)—painavampia kuin ne, jotka syntyvät tähtien kuolemasta, mutta paljon kevyempiä kuin supermassiiviset mustat aukot jotka piileskelevät galaksien keskuksissa. Sekä GW231123:n että GW190521:n törmäyksistä syntyvät aukot ovat selkeimpiä gravitaatioaaltohavaintoja keskitason mustista aukoista, joita on erityisen vaikea havaita.

MIKSI NÄMÄ OMINAISUUDET KIINNOSTAVAT?

Nykyiset teoriat tähtien evoluutiosta antavat ymmärtää, että mustat aukot joiden massat on noin 60 ja 130 auringonmassan välillä pitäisi olla harvoja tai olemattomia. Tämä “kielletty” massaväli, nimeltään [mustien aukkojen massakuilu](#), luullaan tulevan erityisten räjähdyksistä, jotka joko repivät tähdet erilleen ([pari-epätasapainosupernova](#)) tai syyttävät suuren osan massastaan ulos ennen romahdusta ([sykkivä pari-epätasapainosupernova](#)), estäen mustan aukon syntymisen.

GW231123 haastaa tämän odotuksen. Kevyempi musta-aukko on melko varmasti massakuilussa 83% todennäköisyydellä, ja painavammalla mustalla aukollakin on 26% todennäköisyys olla kuilussa. Tämä kertoisi, että perinteellinen tähtievoluutio ei täysin selitä näiden alkuperää.

Kiehtova mahdollisuus on, että yksi tai molemmat mustat aukot muotoutuivat aiemmissa mustien aukkojen törmäyksissä. Tämä voisi selittää niiden korkeat arvioidut massat ja spinin, ja voisi kertoa että ne elivät erittäin tiheässä ympäristössä, kuten [ydintähtijoukoissa](#) tai [aktiivien galaksien ytimissä](#), jossa mustilla aukoilla on korkeampi todennäköisyys törmätä. Nämä tiheät ympäristöt voi myös johtaa mustat aukot kiertämään pitkänomaisilla tai [eksentrisillä](#) kiertoradoilla. Rajaamaan nykyisten malliemme monimutkaisuutta ne olettavat että mustien aukkojen kierre sisäänpäin tapahtuu melkein pallomaisilla kiertoradoilla jotka vähitellen pienenevät kun ne erittävät gravitaatioaaltoja. Mutta jos kiertoradat ovat hyvin eksentrisiä etenkin juuri ennen törmäystä, se voisi vaikuttaa säteilyn aaltomuotoon tavalla jota mallimme eivät pysty mallintamaan. Tämä on avonainen mahdollisuus GW231123 tapauksessa, mutta testaaminen vaatii kehittyneempiä malleja.

Muut vaihtoehdot jotka voisivat tuottaa tämänlaisen signaalin kuten [gravitaatiolinssaus](#), [alkukantaiset mustat aukot](#), [ydinromahdussupernovat](#), [bosonitähtitörmäykset](#) tai [kosmiset säikeet](#) ovat astrofysisesti vähemmän todennäköisiä vaihtoehtoja kun edellä mainitut.

TÖRMÄYKSEN VIIMEHETKET

Suurimmalle osalle mustien aukkojen törmäys tapahtumista, jotka LVK havaitsee—lähes 300 kun tämä tiedeyhteenveto on kirjoitettu—observatoriot ovat herkimpiä signaalin alkuosille, jolloin mustat aukot kiertävät toisiaan ja lopulta törmäyvät. Sen korkean massan takia, GW231123 kuitenkin antoi meille selkeimmän näön sen suuresta finaalista: törmäys ja sen [loppusuittovaihe](#), jolloin vastasyntynyt musta-aukko säteilee energiaa gravitaatioaaltojen kautta, värisee ja vihdoin asettuu vakaseen tilaan, kuten kello jonka soitto väkenee hiljaisuuteen.

Vertasimme tämän signaalin loppuosaa yleisen suhteellisuusteorian ennustuksiin siitä, miten musta aukko vaimenee, ja löysimme vahvaa yksimielisyyttä teorian ja datamme välillä. Mutta GW231123:n äärimmäiset ominaisuudet ajavat malimme ääri rajoilleen, jättäen joitain hienovaraisia piirteitä selityksettä ja viitaten paikkoihin, joissa aaltomuotojamme voi parantaa.

PÄÄTELMÄ

Muutama vuosi sitten, [GW190521:n tiedeyhteenvedossa](#), sanoimme että ennätykset on luotu rikottaviksi, ja GW231123 on tehnyt juuri tämän. Kun sen ominaisuudet voivat johtaa mustiin aukkoihin massakuilussa ja pyörimistä joka lähestyy teoreettista rajaa, tämä tapahtuma erottuu sekä poikkeuksellisen että tulkinnaltaan arvoituksellisenä. Se pakottaa meidät tutkimaan muita mahdollisuuksia mustien aukkojen syntymiselle yli perinteisen tähtievoluution, ja tuo esiin aaltomalliemme rajat. Kun jatkamme universumin kuuntelemista gravitaatioaaltojen kera, GW231123 on vahva muistutus että kosmoksella on vielä monen monta yllätystä, ja alamme juuri vasta paljastamaan niitä.

ENEMMÄN TIETOA:

Vieraile sivuillamme:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Lue artikkelin ilmainen esipainos [täältä](#).

Gravitational-Wave Open Science Centre datajulkaisu löytyy [täältä](#).