

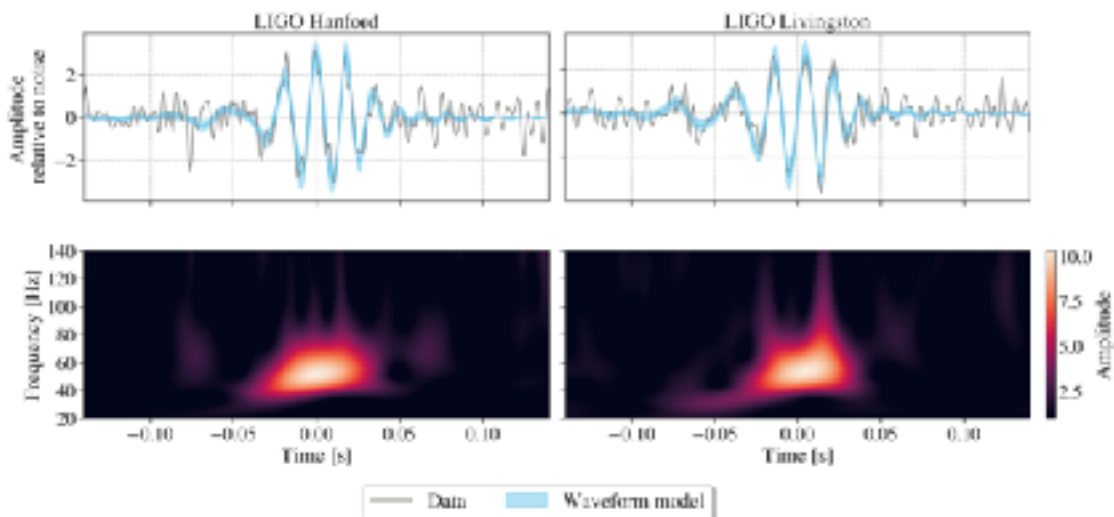
GW231123: DET MEST MASSIVE BINÆRE SYSTEM AF SORTE HULLER OBSERVERET MED TYNGDEBØLGER

Den 23. november 2023 kl. 13:54:30 UTC observerede LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) samarbejdet GW231123: et tyngdebølge-lignende signal, som sandsynligvis er resultatet af en kollision mellem to sorte huller med den højeste samlede masse nogensinde observeret af LVK. Disse sorte huller ville have [roteret ufattelig hurtigt om sig selv](#) (højt spin), og deres individuelle masser falder sandsynligvis inden for et interval, der udfordrer de nuværende teorier for udviklingen og enden på massive stjerners liv.

OBSERVATION AF SIGNALET

Tyngdebølgen blev observeret af de to "Advanced LIGO" detektorer i Hanford og Livingston i den første del af den fjerde LVK [observationsperiode](#) (O4a). Kohærensens mellem de to observatorier var essentiel for at sikre en signifikant observation. I

Figur 1 ses det, at signalet varede omkring en tiendedel af et sekund, men i den tid var signalet omkring **20 gange stærkere** end den typiske støj fra detektorerne. For at sikre, at der ikke var tale om tilfældig støj i dataene, har vi udført grundige statistiske tests. Ved at bruge teknikker, der simulerer tusinder års data, fandt vi, at sandsynligheden for, at tilfældig støj ville have produceret et tilsvarende signal til GW231123 er mindre end én gang per 10.000 år! Dette betyder, at vi er *ekstremt* sikre på, at signalet ikke har jordisk oprindelse og derfor er et signal fra en tyngdebølge.



Figur 1: GW231123 signal observeret i data fra LIGO Hanford (venstre) og Livingston (højre) detektorerne. Det øverste panel viser signalets amplitude over tid (grå). I blå ses vores estimat af signalet som det ville se ud uden støj. Det nederste panel er spektrogrammer, som også er kendt som tids-frekvensdiagrammer, der viser amplitude som funktion af tid (horizontal akse) og som funktion af frekvens (vertikal akse). Lysere farver repræsenterer stærkere signal.

KILDEN TIL SIGNALET

Data indikerer tydeligt, at signalet kommer fra en voldsom [kollision mellem to sorte huller](#). Vi har brugt flere forskellige modeller baseret på [Einstein's generelle relativitetsteori](#) til at simulere hvordan signalet fra distinkte par af sorte huller med forskellige egenskaber såsom masse og spin ville se ud.

Ved at sammenligne vores data med disse modeller, har vi fundet ud af at disse sorte huller vejede henholdsvis omkring 137 og 103 gange [solens masse](#). Når vi tager højde for alle usikkerheder, finder vi, at den samlede masse efter deres sammenstød sandsynligvis ligger i intervallet mellem 190 og 265 solmasser. Med en masse i dette interval overgår fænomenet den tidligere rekord fra [GW190521](#), som det mest massive binære system af sorte huller binær observeret til dato.

LÆR MERE:

Besøg vores www.ligo.org
 hjemmesider: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Ikke nok med, at det er det mest massive binære system observeret til dato, så er de sorte hullers spin sandsynligvis tæt på den øvre teoretiske grænse. **Dette gør GW231123 til både det mest massive, men også det mest roterende binære system af sorte huller, der er blevet observeret med tyngdebølger.**

Det resulterende sorte hul fra kollisionen vil formentlig have haft en masse mellem 182 og 252 solmasser. Det placerer det i en sjælden kategori af sorte huller, de såkaldte [mellemtunge sorte huller](#). Disse er kategoriseret ved at være tungere end dem, der bliver formeret ved stjerners kollaps, men de er samtidig langt lettere end de supermassive sorte huller, der lurer i midten af universets galakser. De resulterende sorte huller fra GW231123 og GW190521 er de hidtil klareste observationer af de sjældne mellemtunge sorte huller.

HVORFOR ER DISSE EGENSKABER INTERESSANTE?

Nuværende teorier om stjerners udvikling tyder på, at sorte huller med masser mellem ca. 60 og 130 solmasser bør være sjældne eller ikke-eksisterende. Dette "forbudte" masseinterval, kendt som [massekløften for sorte huller](#), menes at stamme fra specielle typer eksplosioner, som enten river tunge stjerner itu ([parinstabilitets supernovae](#)) eller udskiller en betydelig del af deres masse før de kolliderer ([pulserende parinstabilitets supernovae](#)), hvilket forhindrer formationen af et tungt sort hul.

GW231123 ændrer dog disse forventninger. Det letteste af de to sorte huller befinder sig med 83% sandsynlighed inden for dette masseinterval, mens det tungere sorte hul har en sandsynlighed på 26%. Dette indikerer, at traditionelle teorier om stjerners udvikling ikke fuldt ud kan beskrive de observerede sorte hullers oprindelse.

En interessant mulig forklaring er, at et eller begge af de sorte huller er resultatet af tidligere sammenstød med andre sorte huller. Det ville forklare deres høje estimerede masse og spin, og det ville indikere, at de, astrofysisk set, ligger i meget kompakte omgivelser, som f.eks. en [nuklear stjernehub](#) eller en [aktiv galaksekerne](#), hvor sorte huller kolliderer med større sandsynlighed. Disse kompakte omgivelser kan også føre til, at sorte huller indgår i mere [elliptiske](#) kredsløb om hinanden. Vores modeller er derimod bygget med antagelsen om, at de sorte huller bevæger sig omkring hinanden i næsten sfæriske baner, der langsomt bliver mindre, idet de udsender tyngdebølger. Hvis deres kredsløb er meget elliptiske, særligt lige inden kollisionen, kan det påvirke det udsendte signal på måder, som vores model ikke tager højde for. For GW231123 er dette fortsat en mulighed, som kræver yderligere og mere avancerede modeller at teste.

Andre scenarier, der kan have produceret et lignende signal, er fænomener som [gravitationslinser](#), [primordiale sorte huller](#), [kerne-kollaps supernovae](#), [bosonstjerne sammenstød](#) og [kosmiske strenge](#). Disse forklaringer er dog mere usandsynlige end dem beskrevet foroven.

DE SIDSTE ØJEBLIKKE INDEN SAMMENSTØDET

De fleste sammenstød, som bliver observeret af LVC – omkring 300 i skrivende stund – er i detektorernes mest sensitive område i de tidlige dele af signalet, hvor de sorte huller bevæger sig mod hinanden. GW231123 er så massivt et event at selve sammenstødet og ["ringdown"](#) fasen, hvor det nye samlede sorte hul udstråler energi gennem tyngdebølger, idet det langsomt vibrerer indtil det ligger stille, lå i det mest sensitive interval for detektorerne.

Vi sammenlignede den sidste del af signalet med forudsigelserne fra generel relativitetsteori. Her fandt vi, at der var en stærk sammenhæng mellem teorien og vores data. Dog har de ekstreme egenskaber ved GW231123 skubbet vores model til dens grænser, med visse uforklarede egenskaber, og indicier for at aspekter af vores modeller kan forbedres.

KONKLUSION

I vores [oversigt over GW190521](#) sagde vi, at rekorder er skabt for at blive overgået. GW231123 har gjort netop det. Med individuelle masser i massekløften for sorte huller og med spin nær den øvre teoretiske grænse er GW231123 både ekstraordinært og obskurt. Eventet tvinger os til at udforske nye måder hvorpå sorte huller kan dannes, som går ud over de sædvanlige teorier baseret på stjerneudvikling alene, og hjælper os med at finde begrænsningerne i vores nuværende modeller. I vores fortsatte søgen efter tyngdebølger i Universet står GW231123 tilbage som en vigtig påmindelse om, at vores Univers stadig gemmer på flere overraskelser, og at vi kun lige er begyndt på at udforske dem.

FIND MERE:

Besøg vores hjemmesider:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Læs en gratis udgave af den fulde videnskabelige artikel [her](#).

Gravitational-Wave Open Science Centre data for GW231123 kan findes [her](#).