

## GW190814 ची जिज्ञासू गाथा: सौर वस्तुमानाच्या कृष्णविवराचे आणि एका गूढ घन घटकाचे विलीनीकरण

ऑगस्ट १४, २०१९ रोजी (LIGO च्या तीनही उपकरणांतून निदर्शनात आलेल्या पहिल्या वहिल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी [GW170814](#) च्या अनमोल शोधाच्या अगदी दोन वर्षांनंतर) अमेरिकेतील [दोन प्रगत LIGO \(Hanford-Washington मधील उपकरण, Livingston-Louisiana मधील उपकरण\)](#) आणि इटली मधील Cascina येथील प्रगत Virgo उपकरणाने नव्याने गुरुत्वाकर्षण लहरींचे मापन केले आहे, ज्यांच्या स्रोतांची गोष्ट कदाचित अधिक उत्साहवर्धक आहे. LIGO-Virgo उपकरणांनी ह्या लहरींचा शोध त्यांच्या [तिसऱ्या निरीक्षण फेरीत\(O3\)](#) लावला. ह्या लहरींची उत्पत्ती दोन अतिघन पदार्थांच्या विलीनीकरणातून झाली असून ज्यांपैकी एक कृष्णविवर असल्याचे निश्चित झाले असून दुसऱ्या घन पदार्थाची ओळख पटलेली नाही. अश्या ह्या लहरींची तीव्रता अतिशय लक्षणीय होती.

GW190814 च्या स्रोतांची अद्वितीयता दोन लक्षणीय वैशिष्ट्यांतून निदर्शनास येते. प्रथमतः दोन घटकांपैकी अधिक वस्तुमानाचा घटक दुसऱ्या घटकाच्या सुमारे नऊ पट अधिक मोठा आहे. ह्यामुळे आतापर्यंत शोध लागलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या स्रोतांमधील GW190814 चा स्रोत अत्यंत असमितीय स्रोत असल्याचे लक्षात येते आणि दुसरे वैशिष्ट्य म्हणजे ह्या स्रोतांतील हलक्या स्रोताचे वस्तुमान! ह्या वस्तुमानाचे मापन ह्या घटकाला आतापर्यंत शोध लागलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या अतिघन स्रोतांच्या जोड्यांमधील सर्वात हलके कृष्णविवर अथवा सर्वात अवजड [neutron तारा](#) ठरवू शकते! सध्या ह्याबाबत आपण विश्वसनीय विधान करू शकत नाही. एकंदरीत, ही वैशिष्ट्ये आपल्या अतिघन पदार्थांच्या वस्तुमानाबाबतच्या आणि त्यांच्या एकमेकांत विलीन होण्याच्या प्रकियेच्या अभ्यासात नवीन आवाहने निर्माण करतात.

### गुरुत्वाकर्षण लहरींचे निरीक्षण

उपकरणांतील data मधून गुरुत्वाकर्षण लहरींचा शोध "[matched filtering](#)" पद्धतीने घेतला जातो, ज्यात निरीक्षणांतील data ची तुलना आइनस्टाइनच्या [सामान्य सापेक्षतावादाच्या](#) सिद्धांतानुसार वर्तवलेल्या अंदाजांशी केली जाते. अश्या अभ्यासातून GW190814 हे केवळ उपकरणांतील अनावश्यक आवाजातून उद्भवण्याची शक्यता १०,००० वर्षांतून एकदा निघेल ह्यापेक्षाही कमी आहे. GW190814 ची घटना आतापर्यंत नोंदवल्या गेलेल्या घटनांमधील तिसरी अतितीव्र घटना आहे ([GW170817](#) आणि [GW150914](#) च्या नंतर). ह्या तीव्रतेची कल्पना पटल क्रमांक १ मधील काळानुसार बदलत जाणाऱ्या स्पंदनांच्या मापनावरून घेतली जाऊ शकते.

निरीक्षण फेरी ३ च्या (O3) संपूर्ण काळात LIGO-Virgo चमूतर्फे सतत संभावित गुरुत्वाकर्षण लहरींचे [सार्वजनिक संकेत](#) देण्यात आले. ह्या सार्वजनिक संकेतांमध्ये मुख्यतः लहरींना कारणीभूत असलेल्या स्रोतांची माहिती नेहमीच [स्रोतांच्या वर्गीकरणातून](#) देण्यात आली. GW190814 ची [घोषणा](#) निरीक्षणाच्या २० मिनिटांत करण्यात आली ज्यात स्रोतांचे वर्गीकरण "[Maas gap](#)" (असा वर्ग जिथे स्रोताचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ३ ते ५ पट आहे) मध्ये केले गेले. Mass gap च्या ह्या वर्गाची प्रेरणा शास्त्रज्ञांना सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ५ पट अथवा त्याहून कमी वस्तुमान असणाऱ्या अतिघना स्रोतांच्या निरीक्षणांच्या अभावांतून मिळाली. अश्या प्रकारच्या कृष्णविवरांच्या वास्तुमानांचे वितरण "[lower \(लघु\) mass gap](#)" मध्ये केले जाते.

निरीक्षणांच्या अतिरिक्त अभ्यासातून वस्तुमानांची अधिक अचूक मोजणी करण्यात आली, ज्याची नोंद ११ तासांनंतर [अद्ययावत संकेतात](#) देण्यात आली. ह्या संकेतानुसार, गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या स्रोतांची जोडी "[NSBH](#)" असल्याचे सांगण्यात आले. ह्याचा अर्थ, ज्या घटकाचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ३ पट वस्तुमानाहून कमी होते, त्याला अवजड वस्तुमानाचा "neutron tara" मानण्यात आले. गुरुत्वाकर्षण लहरींचे स्थानिकीकरण अंदाजे २० square degree इतक्या लहान जागेत झाले (पटल क्रमांक २ पहा). ह्या माहितीच्या आधारे, [GW170817](#) सारखाच ह्या निरीक्षणांचा देखील [electromagnetic spectrum \(विद्युत-चुंबकीय वर्णपट\)](#) आणि [neutrino](#) (अजिबात जागृत नसलेले अत्यंत लघु आकाराचे कण) यांमध्ये निरीक्षणे शोधण्याचा प्रयत्न करण्यात आला, परंतु काहीच माहिती हातास लागली नाही. GW190814 चे आपल्यापासूनचे अंतर GW170817 च्या तुलनेत अतिशय जास्त आहे,

त्यामुळे हे अगदीच अनपेक्षित नाही. तसेच स्रोतांच्या वैशिष्ट्यांचा (खाली पहा) मापनांतून हे देखील लक्षात आले की ह्या स्रोतांपासून उद्भवलेल्या विद्युत-चुंबकीय लहरी अतितीव्र नसाव्या.

## स्रोतांची वैशिष्ट्ये

ह्या जोडीतील अवजड अतिघन घटकाचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या अंदाजे २३ पट आहे, जे LIGO आणि Virgo च्या निरीक्षणांतून सापडलेल्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानांशी मिळते-जुळते आहे (पटल क्रमांक ३ पहा). हलक्या घटकाचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या २.५ ते ३ पट आहे, जे आत्तापर्यंत सापडलेल्या सर्वात अवजड वस्तुमानाच्या neutron ताऱ्यापेक्षा (MSP J0740+6620) जास्त आहे आणि विद्युत-चुंबकीय वर्णपटांतून अप्रत्यक्षपणे गवसलेल्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानांपेक्षा कमी आहे. तथापि, ह्याचे वस्तुमान (GW170817 प्रमाणे) दोन neutron ताऱ्यांच्या विलीनीकरणानंतर निर्माण होणाऱ्या अतिघन (बहुतांशी कृष्णविवर) घटकाच्या वस्तुमानाशी मिळते-जुळते आहे. अवजड आणि हलक्या घटकांतील असमिती ह्या घटकांची वैशिष्ट्ये तंतोतंत अभ्यासण्यात महत्वाची भूमिका बजावते. ही असमिती जितकी जास्त, तितकाच गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या मूलभूत कंपनांबरोबरच (fundamental frequency) निर्माण होणाऱ्या इतर कंपनांची तीव्रता जास्त असते, ज्यांना “higher harmonics” म्हटले जाते. यांची तुलना एखाद्या सतारीची अथवा गिटारची एक तार ताणल्यावर निर्माण होणाऱ्या सुरांशी केली जाऊ शकते. GW190814 च्या बाबतीत, अंतर आणि जोड्यांच्या कक्षेच्या कलेत असणारी आपापसातील अस्पष्टता ह्या higher harmonics मधून मिळणाऱ्या अधिकांश माहितीतून दूर होण्यास मदत होते. परिणामी आपणास हे जाणण्यास मदत झाली कि GW190814 च्या गुरुत्वाकर्षण लहरी पृथ्वीपासून साधारणतः ८०० दशलक्ष प्रकाशवर्षे दूर उत्पन्न झाल्या!

कृष्णविवरे अथवा neutron तारे यांसारखे अतिघन घटक स्वतःभोवती फिरत असण्याची अपेक्षा असते. जरी त्यांच्या परिभ्रमणाने (वस्तुमानाने होणाऱ्या परिणामाच्या तुलनेत) गुरुत्वाकर्षण लहरींवर जास्त परिणाम होत नाही, पण ह्यामुळे अश्या परिभ्रमणाचे मापन करणे अधिक कठीण होते. GW190814 पासून उत्पन्न झालेल्या लहरींचा कालावधी तुलनेने जास्त होता, निरीक्षक उपकरणांत अंदाजे १० सेकंद त्यांची नोंद झाली. तसेच ह्या लहरींच्या तीव्रतेच्या आधारे आपणाला आतापर्यंतच्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या अभ्यासातील सर्वात अचूक अश्या कृष्णविवराच्या परिभ्रमणाचे मापन करता आले. हे परिभ्रमण सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार वर्तवलेल्या महत्तम परिभ्रमणाच्या ७% हुन कमी आहे. आपणाला हे ही लक्षात आले की ह्या जोडीच्या कक्षेचा कल कलंडलेला नव्हता.

## आइन्स्टाइन आणि हबल यांची परीक्षा

GW190814 मुळे आपणास भौतिकशास्त्राचा अभ्यास करण्यासाठी अतिशय समृद्ध प्रयोगशाळा मिळाली आहे. GW190814 चे स्रोत GW190412 च्या स्रोतांच्या तुलनेत अधिक असमितीय आहेत ज्यामुळे आपणास निरीक्षणांत गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या higher harmonics चे अधिक प्रबळ पुरावे मिळाले. यामुळे गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या बहुध्रुवीय स्वरूपाचे भाकीत करणाऱ्या सामान्य सापेक्षतावादाचे अप्रतिम प्रमाणीकरण झाले. आम्ही सामान्य सापेक्षतावादाच्या काही अधिक चाचण्या GW190814 वर केल्या आणि आम्हाला हे लक्षात आले की (पटल क्रमांक ४ पहा), हे निरीक्षण दोन कृष्णविवरांच्या होणाऱ्या विलीनीकरणातून चांगल्या पद्धतीने वर्णिले जाऊ शकत. प्रामुख्याने, जोडीतील हलका घटक कृष्णविवरे सोडल्यास अन्य कोणत्याही अतिघन घटकांत समाविष्ट होत नाही (उदाहरणार्थ neutron तारे किंवा अन्य विलक्षण अनोखा घटक).

GW190814 च्या माध्यमातून आपण विश्वाच्या प्रसारणाचा दरही (Hubble constant  $H_0$ ) मोजू शकतो. GW190814 च्या लहरींच्या स्रोतांचे स्थानिकीकरण आत्तापर्यंतच्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या मापनांतील अतिशय अचूक स्थानिकीकरण आहे ज्यासाठी आपणांस विद्युत-चुंबकीय वर्णपटलात अथवा neutrino कणांत काहीही निरीक्षण सापडले नाही. तत्त्वतः  $H_0$  चे मापन करण्यासाठी आपणाला स्रोताच्या यजमान आकाशगंगेचे (host galaxy) आपल्या पासूनचे अंतर (redshift) माहित असणे गरजेचे असते. परंतु गुरुत्वाकर्षण लहरींपासून मिळणाऱ्या विद्युत-चुंबकीय संकेतांशिवाय विशिष्ट यजमान आकाशगंगेची ओळख पटू शकत नसल्याने, आपण GW190814 च्या

उत्कृष्ट स्थानिकीकरणाच्या मदतीने त्याच्या सभोवती असलेल्या सर्व ज्ञात आकाशगंगांचा विचार करू शकतो. यानंतर आपण ह्या सर्व आकाशगंगांच्या आपल्या पासूनच्या अंतराना (redshift) एकत्रित करून, गुरुत्वाकर्षण लहरींचे आपल्यापासूनचे अंतर ध्यानात ठेवून, प्रत्येक आकाशगंगा हीच GW190814 च्या स्रोतांचे घर आहे ह्या संभाव्यतेला भारित करून विश्व-प्रसरणाचा दराचे ( $H_0$ ) मापन करू शकतो. ह्या मोजणीतून हा दर ७५ किमी प्रति सेकंद प्रति मॅगपासेक (१ मॅगपासेक =  $3.9 \times 10^{13}$  किमी) असल्याचे स्पष्ट झाले. अशी मोजणी ह्या पूर्वी निरीक्षण केल्या गेलेल्या आणि विद्युत- चुंबकीय पर्णपटलांत निरीक्षण न सापडलेल्या इतर गुरुत्वाकर्षण लहरींपासूनही केली जाऊ शकते.

## हलका घटक neutron तारा आहे की कृष्णविवर?

ह्या घटनेतील हलक्या घटकाचे वस्तुमान हे अगदी अपवादात्मक रीतीने अवजड अश्या neutron ताऱ्याचेही असू शकते अथवा एखाद्या विलक्षण हलक्या कृष्णविवराचे देखील असू शकते. साधारणतः आपण neutron ताऱ्याच्या अस्तित्वाचा शोध गुरुत्वाकर्षण लहरींतील काही विशिष्ट खूणांतून लावू शकतो. neutron ताऱ्याशी संबंधित अतिघन घटकांच्या विलीनीकरणांत दुसऱ्या घटकाच्या शक्तिशाली गुरुत्वाकर्षण क्षमतेने neutron ताऱ्याच्या पृष्ठभागावर लाटा निर्माण होतात (उदाहरणार्थ चंद्रामुळे पृथ्वीवर समुद्रात भरती ओहोटी निर्माण होतात). परंतु, GW190814 सारख्या विशाल आणि असमितीय जोडीच्या बाबतीत अश्या लाटांचे मोजमापन हे अतिशय सूक्ष्म आणि म्हणूनच कठीण असते. अश्या परिस्थितीत लाटांच्या मापनाच्या आमच्या प्रयत्नांतूनही GW190814 ची उत्पत्ती एक neutron तारा आणि एक कृष्णविवर यांच्या एकीकरणातून झाली की दोन कृष्णविवरांच्या एकीकरणातून हे सांगणं शक्य झालेलं नाही.

तसेच दुसरीकडे, neutron ताऱ्याच्या घटकांच्या भौतिक सिद्धान्तांतून आणि कित्येक neutron ताऱ्यांच्या विद्युत- चुंबकीय निरीक्षणांतून आपणाला neutron ताऱ्याच्या महत्तम वस्तुमानाचा अंदाज बांधता येऊ शकतो. ह्या अंदाजांनुसार ह्या जोडीतील हलक्या घटकाचे वस्तुमान एक neutron तारा असण्यासाठीच्या वस्तुमानापेक्षा अतिशय जास्त आहे आणि म्हणूनच ते एक कृष्णविवर असण्याची शक्यता अधिक आहे. असे असूनही आपण हा हलका घटक एक अति अवजड neutron तारा असण्याची शक्यता पूर्णपणे नाकारू शकत नाही, अश्या परिस्थितीत आपल्याला neutron ताऱ्यांच्या महत्तम वस्तुमानाचे आपले अंदाज अत्यंत अभूतपूर्व रीतीने बदलावे लागतील!

## जन्मगाथा: ह्या जोडीची उत्पत्ती कशी झाली?

जोडीतील हलक्या घटकाचे वस्तुमान हे साधारणतः आढळणाऱ्या neutron तारे आणि कृष्णविवरे यांच्या मधील असल्याने आणि तसेच हे वस्तुमान जोडीतील दुसऱ्या अवजड घटकाच्या अंदाजे ९ पट कमी असल्याने, GW190814 ची कथा ही LIGO आणि Virgo च्या निरीक्षक उपकरणांनी शोधलेल्या कोणत्याही जोड्यांच्या विलीनीकरणाशी जुळत नाही (पटल क्रमांक ५ पहा). ही कथा आत्तापर्यंत सांगणकीय मदतीने वर्तवलेल्या कोणत्याही अतिघन घटकांच्या विलीनीकरणाच्या रचनांशी जुळत नाही. अश्या जोड्यांच्या विलीनीकरणाची शक्यता विश्वात सापडणाऱ्या इतर अतिघन जोड्यांच्या विलीनीकरणाच्या शक्यतांचा तुलनेत अत्यंत कमी आहे. ह्या कारणांमुळे, अश्या विशिष्ट जोडीचे आणि त्यांतील घटकांच्या विलीनीकरणातून उद्भवलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे उपलब्ध भौतिक सिद्धांतांच्या आधारे स्पष्टीकरण करणे निश्चितच आव्हानात्मक आहे. GW190814 च्या वैशिष्ट्यांची आणि खगोलशास्त्रज्ञांनी वर्तवलेल्या ताराकांच्या उत्पत्तीमागच्या भौतिक सिद्धांतांच्या आधारे मापन झालेल्या GW190814 च्या घटकांच्या विलीनीकरणाच्या दराची तुलना करून आपणाला हे उमगले की अश्या जोड्यांच्या उत्पत्तीची शक्यता एखाद्या जुन्या गोलाकार तारका समूहांच्या (globular cluster) तुलनेत एखाद्या तरुण दाट तारका समूहात (star cluster) आणि तसेच एखाद्या सक्रिय आकाशगंगेच्या मध्यवर्ती भागात (active galactic nuclei) होण्याची शक्यता अधिक असल्याचे लक्षात येते, परंतु सर्वच अतिघन घटकांच्या उत्पत्तीचे भौतिक सिद्धांत पुन्हा तपासणे गरजेचे झाले आहे. GW190814 च्या स्रोतांच्या जोडीची उत्पत्ती स्वतंत्रपणे देखील विलग होऊन झाली असावी, परंतु अश्या व्यवस्थेबाबत अंदाज बांधण्यासाठी अतिघन घटकांच्या उत्पत्तीच्या भौतिक सिद्धांतात तसेच गृहीतकांत अनुरूप बदल करावे लागतील. ह्या जोडीतील हलका घटक हा स्वतः दोन अतिघन घटकांच्या

एकीकरणातून जन्मलेला असू शकतो ज्याला आपल्याला दुसऱ्या पिढीचा अतिघन अवशेष घटक म्हणता येईल. असा अवशेष घटक त्यानंतर दाट तारका समूहातील एखाद्या कृष्णविवराचा गुरुत्वाकर्षण शक्तीमुळे जोडीदार बनू शकतो. किंबहुना अश्या प्रकारच्या मुख्य प्रक्रियेतून अतिघन घटकांच्या जोडीची उत्पत्ती होण्याची शक्य अतिशय कमी आहे. GW190814 चे निरीक्षण अतिघन घटकांच्या वस्तुमानाबद्दल आणि त्यांच्या एकीकरणाबद्दल अतिशय चित्तवेधक प्रश्न निर्माण करते. भविष्यातील गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षणांतून अश्या प्रकारच्या असमितीय घटकांच्या एकीकरणावर (ज्याचे GW190814 हे केवळ एक उदाहरण आहे!) अधिक प्रकाश (अथवा गुरुत्वाकर्षण लहरी!) टाकण्याचे काम निश्चितच होईल.

## शब्दकोश

**अतिघन घटक:** ताऱ्याच्या स्फोटानंतरचे अतिशय दाटपणे संचित असलेले अवशेष. उदाहरणार्थ, श्वेतबटू (white dwarf), neutron तारा, कृष्णविवर

**कृष्णविवर:** एक अत्यंत घन वस्तू ज्याच्या गुरुत्वाकर्षण शक्तीमुळे प्रकाश सुद्धा निसटून जाऊ शकत नाही.

**neutron तारा:** एखाद्या अत्यंत विशालकाय ताऱ्याच्या स्फोटानंतर उरलेला अतिघन अवशेष

**higher harmonics:** गुरुत्वाकर्षण लहरींचे उत्सर्जन गोलाकार स्पंदनांतून रेखाटले जाऊ शकते. higher harmonics ह्याच स्पंदनांच्या समीकरणातील उच्च संज्ञांतून दर्शविल्या जातात.

**कल:** एकमेकांभोवती फिरणाऱ्या कृष्णविवरांचा एकंदरीत पृथ्वीच्या तुलनेत कलंडलेला कोन. कोनीय गतीच्या संवर्धनासाठी जेव्हा कृष्णविवरांचे परिभ्रमण कक्षेच्या दिशेच्या उलट असते, कक्षेचा कल एकूण कोनीय गतीच्या दिशेने कलंडतो.

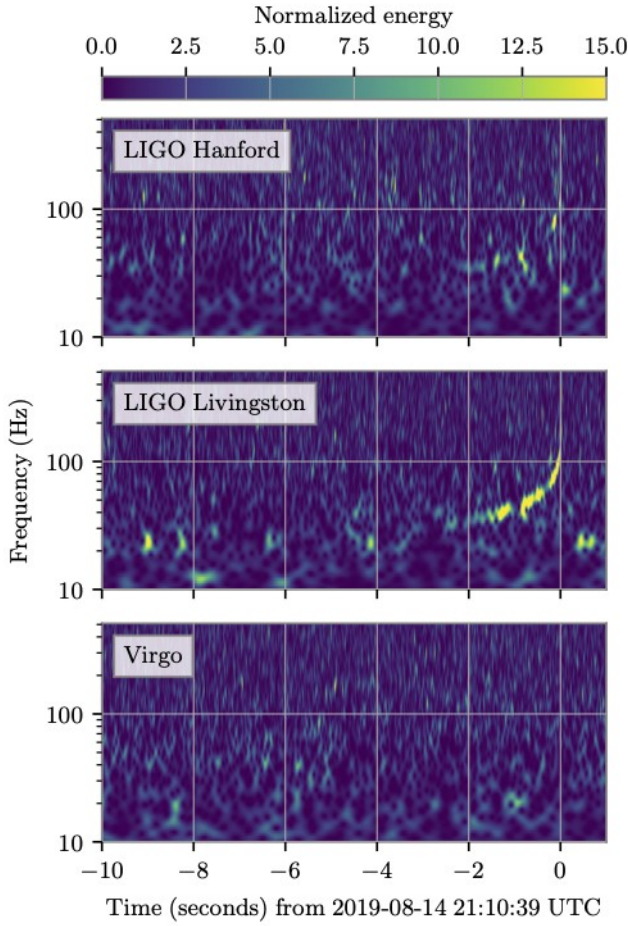
**प्रकाशवर्ष:** प्रकाशाला आपल्या अतिवेगवान गतीने एका वर्षात जितके अंतर पार करता येते ते अंतर. हे अंतर १० दशलक्ष दशलक्ष (१०,०००,०००,०००,०००) किमी इतके अफाट आहे!

**redshift:** पदार्थाच्या गतीमुळे निरीक्षकाच्या मापनांतील पदार्थाच्या (प्रकाशाच्या, ध्वनीच्या, गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या) तरंगलांबीमध्ये झालेली वाढ. [वैश्विक प्रसारणामुळे](#) आकाशगंगांसारखे घटक आपल्यापासून दूर जात आहेत आणि त्यांपासून येणाऱ्या प्रकाशाची आणि इतर विद्युत- चुंबकीय तरंगांची तरंगलांबी वाढत चालली आहे.

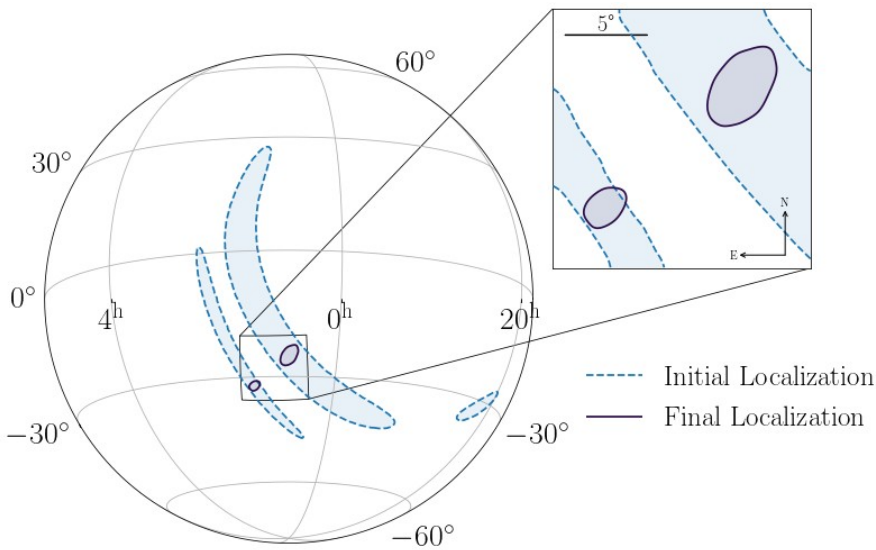
**globular cluster:** आकाशगंगांच्या सभोवती फिरणारा तारकांचा घनदाट गोलाकार समूह. ह्या समूहात कमाल दशलक्ष तारे असू शकतात.

**Active galactic nuclei:** काही आकाशगंगांच्या मध्यवर्ती सापडणारा अतिघन आणि तेजस्वी भाग. विश्वातील अतिशय तीव्र आणि स्थिर ऊर्जास्रोतांपैकी एक.

## संबंधित आकृत्या

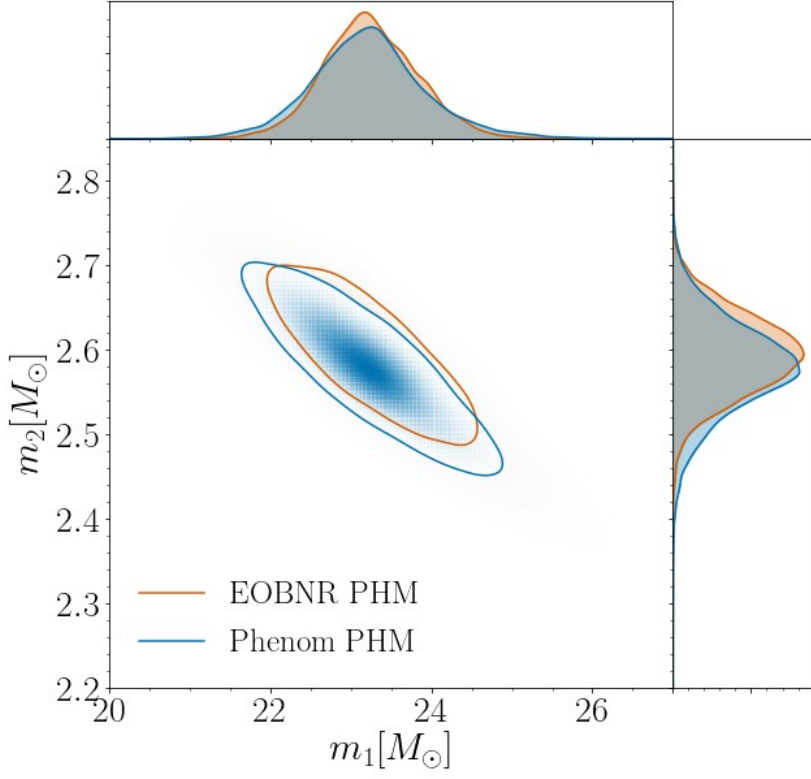


पटल क्रमांक १: LIGO Hanford (सर्वात वरचे पटल), LIGO Livingston (मधले पटल) आणि Virgo (सर्वात खालचे पटल) या ३ गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षक उपकरणांत नोंदवण्यात आलेला GW190418 चा 'spectrogram'. आडवा अक्ष वेळेची नोंद दाखवत आहे व उभा अक्ष कंपनांच्या (frequency) मापनाची नोंद दाखवत आहे. येथे वेळेची नोंद प्रत्यक्ष निरीक्षणाच्या १० सेकंद आधीपासूनची दर्शवली आहे. विविध रंग कंपनांच्या विविध क्षमतांचे प्रमाण देत आहेत. एक विशिष्ट खूण (कमी स्पंदनापासून जास्त स्पंदनापर्यंत वेळेनुसार वाढणारा संकेत) येथे मधल्या LIGO-Livingston (जेथे निरीक्षणाची तीव्रता अतिशय जास्त नोंदवण्यात आली) च्या निरीक्षण पटलात स्पष्टपणे टिपली जाऊ शकते. जसजशी कृष्णविवरे एकमेकांच्या अधिकाधिक जवळ येत आहेत तसतसा हा संकेत गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या वाढत जाणाऱ्या उत्सर्जनाचा आढावा घेत आहे. अंततः दोन्ही कृष्णविवरे एकमेकांत विलीन होतात.

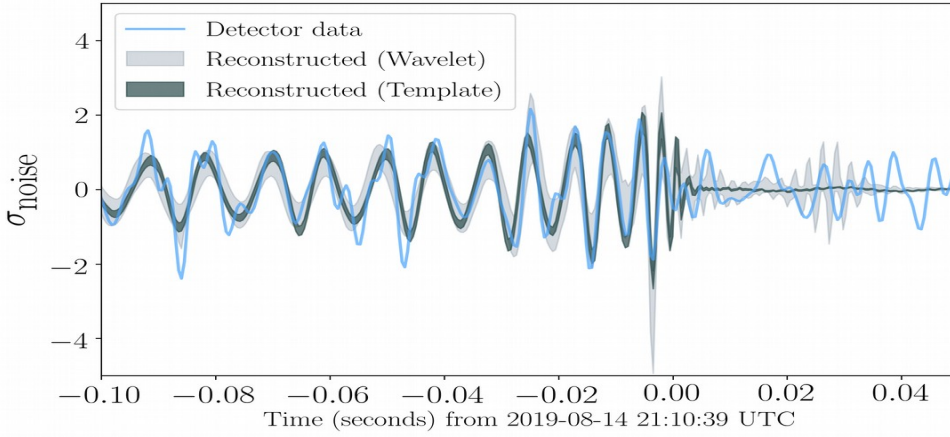


पटल क्रमांक २: अवकाशातील तो भाग जिथून GW190814 च्या गुरुत्वाकर्षण लहरी आपल्या भेटीस आल्या. ह्यामधील निळे भाग प्रत्यक्ष वेळी झालेल्या निरीक्षणांती सापडलेले स्थानिकीकरण असून जांभळे भाग हे सर्व अभ्यासांती सापडलेले अचूक स्थानिकीकरण आहेत.

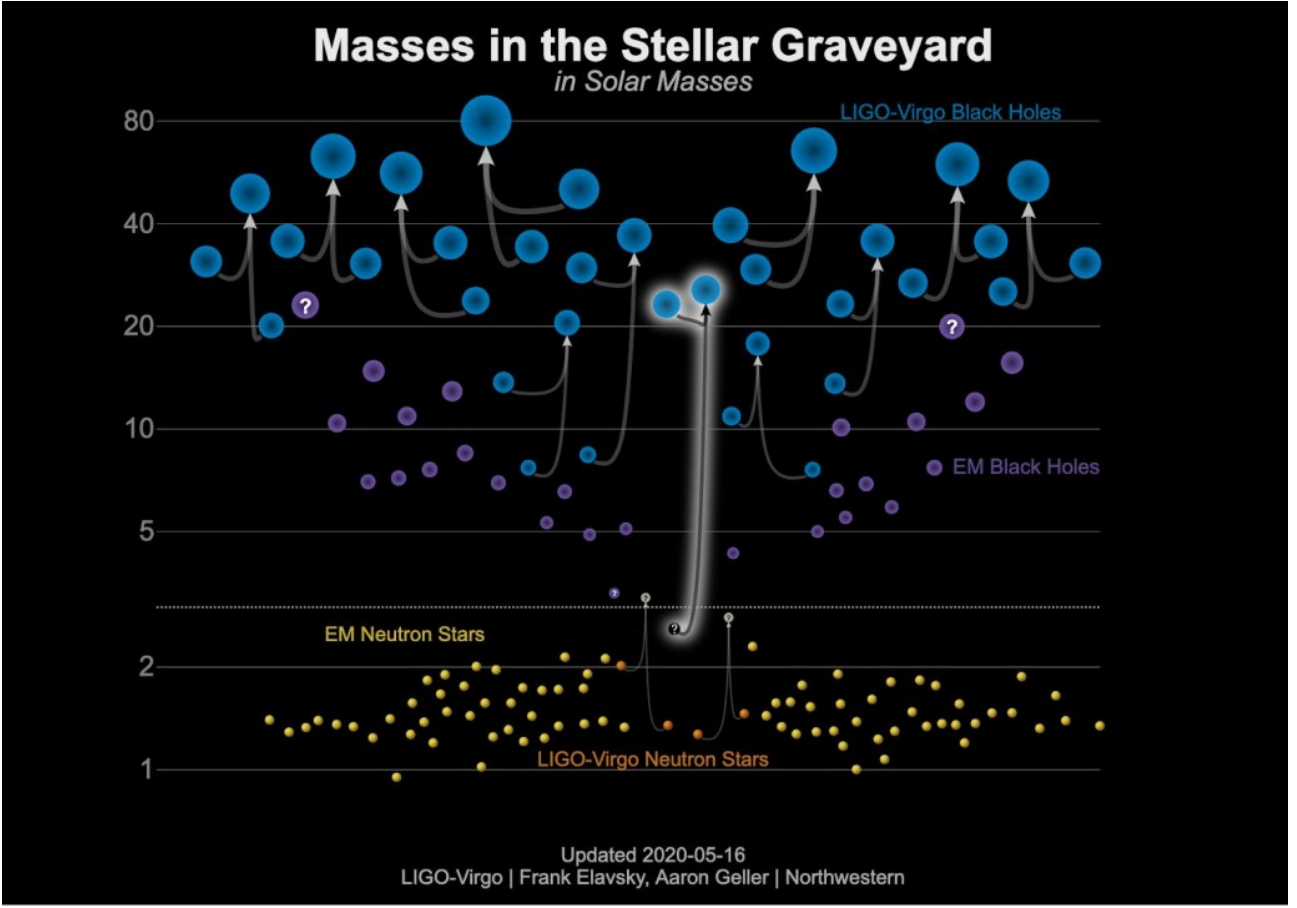




पटल क्रमांक ३: अभ्यासाअंती सापडलेले GW190814 च्या स्रोतांचे वस्तुमान. आडवा अक्ष अवजड घटकाचे वस्तुमान दर्शवतो तर उभा अक्ष हलक्या घटके वस्तुमान दर्शवतो (जो neutron तारा अथवा कृष्णविवर असू शकते). येथे निळी, नारिंगी (अंडाकृती) रूपरेषा आणि निळा छायांकित भाग निरीक्षणाशी सुसंगत असणाऱ्या वस्तुमानांचे सादरीकरण करत आहेत. मुख्य पटलाच्या वर आणि उजवीकडे असणाऱ्या अतिरिक्त पटलांतील वक्ररेषा जोडीतील घटकांचे शक्य असणारे वैयक्तिक वस्तुमानाचे वितरण दर्शवत आहेत. यातील दोन वक्ररेषा सामान्य सापेक्षतावादाच्या दोन नमुन्यांशी सुसंगत अशी वस्तुमानांची वितरण दर्शवतात.



पटल क्रमांक ४: GW190814 च्या वेळेचा निरीक्षक उपकरणाचा वास्तविक data (निळी वक्ररेषा). आडव्या अक्षावर वेळेची नोंद केली आहे. तसेच खगोलशास्त्रानुसार वर्तवलेले लहरींचे नमुनेही दर्शवले आहेत. यातील गडद राखाडी भाग सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार वर्तवलेल्या लहरी दर्शवतो आणि फिका राखाडी भाग कोणत्याही गुरुत्वाकर्षण सिद्धांताच्या किमान कसोट्या मानून वर्तवलेल्या लहरी दर्शवतो. येथे उभा अक्ष अश्या प्रकारे स्थित केला आहे कि त्यातील १ चा टप्पा साधारणतः आढळणाऱ्या निरीक्षण उपकरणांतील अतिरिक्त आवाजाच्या (noise) चढउताराशी सुसंगती दर्शवतो.



पटल क्रमांक ५: गुरुत्वाकर्षण लहरी आणि विद्युत-चुंबकीय निरीक्षणातून सापडलेल्या neutron तारे आणि कृष्णविवरे यांच्या वस्तुमानाचे वितरण. पिवळे आणि जांभळे गोळे विद्युत-चुंबकीय निरीक्षणातून सापडलेल्या अनुक्रमे neutron तारे आणि कृष्णविवरे यांचे प्रतिनिधित्व करतात, तर नारिंगी आणि निळे गोळे गुरुत्वाकर्षण लहरीतून सापडलेल्या अनुक्रमे neutron तारे आणि कृष्णविवरे यांचे प्रतिनिधित्व करतात. GW190814 चे निरीक्षण हे पाटलाच्या मध्यभागी ठळकपणे दर्शवले आहे जे एका कृष्णविवराच्या आणि एका गूढ (ज्याचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या २६ पट आहे अश्या) घटकाच्या एकीकरणाचे मापन आहे ज्यातून एका नवीन कृष्णविवराच्या जन्म झाला.