



LIGO
Scientific
Collaboration



GW190521 : आतापर्यंत सापडलेल्या सर्वाधिक वजनदार कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणाचे निरीक्षण

आपण काय निरीक्षण केले ?

२१ मे २०१९ रोजी प्रगत LIGO वैज्ञानिक मंडळ आणि प्रगत Virgo मंडळ यांच्या संयुक्त विद्यमाने विलक्षण अश्या कृष्णविवरांच्या जोडीच्या विलीनीकरणातून उत्पन्न झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे (Gravitational Waves: GW) निरीक्षण करण्यात आले. GW190521 या नावाने संबोधित केलेले हे मापन आतापर्यंत सापडलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या तुलनेत कालावधीत कमी लांबीचे आणि कमी स्पंदनांच्या पट्ट्यात मोडणारे होते.

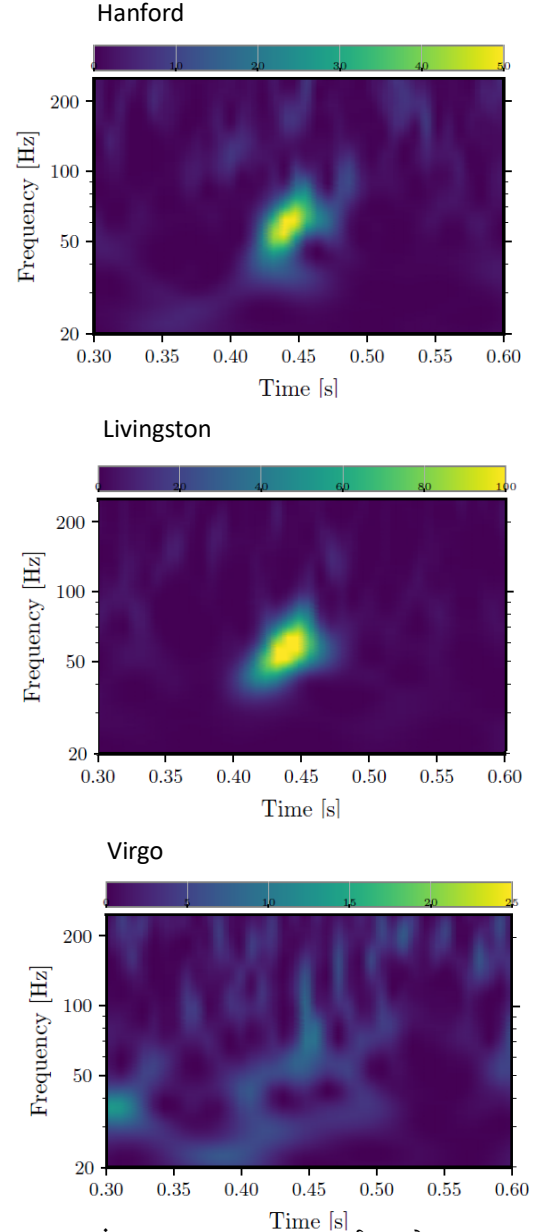
प्रगत VIRGO आणि प्रगत LIGO उपकरणांच्या संवेदनशील पट्ट्यांमध्ये नोंद होणारा कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणाचा कालावधी हा कृष्णविवरांच्या एकूण वस्तुमानाशी व्यस्त प्रमाणात जोडलेला असतो (म्हणजेच जास्त वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांपासून जन्मलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी कमी कालावधीच्या असतात आणि कमी वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांपासून जन्मलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी जास्त कालावधीच्या असतात). GW190521 च्या बाबतीत हा कालावधी केवळ ०.१ सेकंदाचा आढळला. तुलना करायची म्हटल्यास, आपण निरीक्षलेल्या पहिल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी अर्थात GW150914 च्या कालावधीपेक्षा अत्यंत कमी. तसेच, ज्या उच्चतम स्पंदनांना गुरुत्वाकर्षण लहरी मापल्या जातात, ती स्पंदने देखील कृष्णविवरांच्या एकूण वस्तुमानाशी व्यस्त प्रमाणात संबद्धित असतात.



आमच्या
संकेतस्थळांना भेट
द्या:

<http://www.ligo.org>
<http://www.virgo-gw.eu>

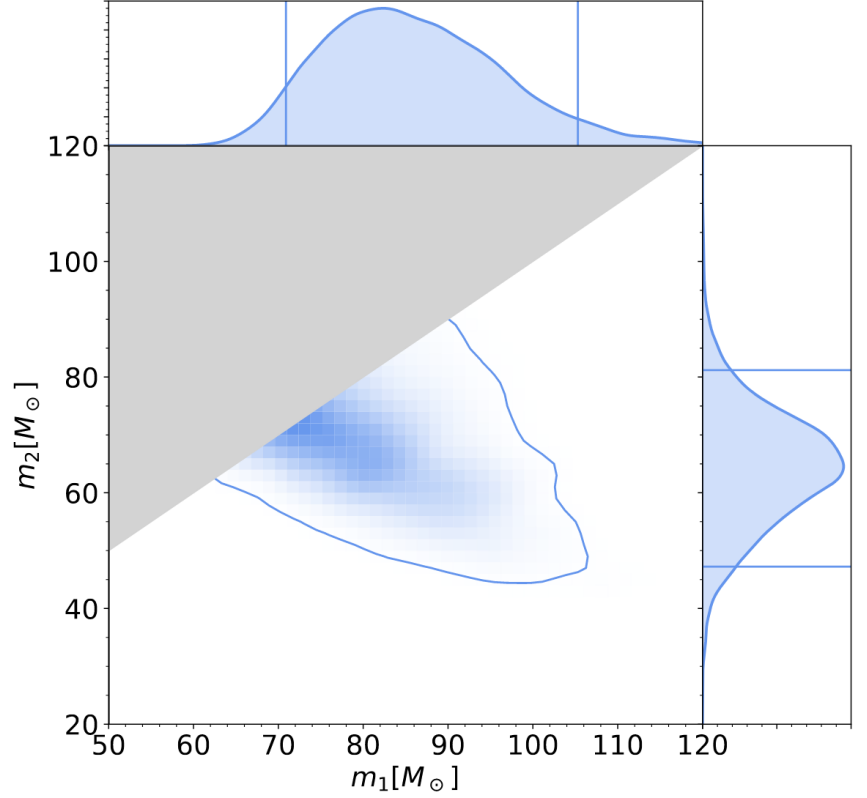
GW190521 च्या बाबतीत ही स्पंदने ६० Hz ला उच्चतम असल्याचे नोंदवले गेले होते, हे प्रमाण GW150914 च्या तुलनेत (१५० Hz) अत्यंत कमी त्यामुळे हे स्पष्ट होते कि (पटल क्रमांक १ पहा) LIGO-Virgo उपकरणांच्या हाती अवजड कृष्णविवरे लागली होती. पटल क्रमांक २ मध्ये आपण GW190521 च्या लहरी उत्सर्जित करणाऱ्या कृष्णविवरांचे वस्तुमान पाहू शकतो. ह्यापैकी मोठ्या



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 GW190521 चा 'spectrogram'. आडवा अक्ष वेळेची नोंद दाखवत आहे व उभा अक्ष कंपनांच्या (frequency) मापनाची नोंद दाखवत आहे. वेळ ही २१ मे २०१९ रोजी ०३:०२:२९ UTC वेळेची संलग्न करून दर्शवली आहे. विविध रंग कंपनांच्या विविध क्षमतांचे प्रमाण देत आहेत. लहरींचा अत्यंत लहान कालावधी आणि स्पंदनांची अत्यंत कमी तीव्रता (६० Hz) लक्षात घ्या. सौजन्य: GW190521 च्या शोधनिबंधातील पटल क्रमांक १.

कृष्णविवराचे वस्तुमान [सूर्याच्या वस्तुमानाच्या](#) (M_{\odot} चिन्हाने दर्शविलेले) तब्बल ८५ पट असल्याचे कळते आणि लहान कृष्णविवराचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या तब्बल ६६ पट असल्याचे कळते. ही दोन्ही कृष्णविवरे आतापर्यंत VIRGO आणि LIGO उपकरणांनी [शोधलेल्या सर्व खगोलीय घटकांपेक्षा](#) अवजड आहेत. इतकंच नाही, तर ह्या जोडीतील लहान कृष्णविवराचे वस्तुमानसुद्धा आतापर्यंत शोधल्या गेलेल्या विलीनीकरणांतील प्रक्रियांअखेर राहिलेल्या कित्येक शेष घटकांच्या वस्तुमानापेक्षा अधिक आहे (पटल क्रमांक ३ पहा).

GW190521 च्या बाबतीत, विलीनीकरणानंतरच्या शेष कृष्णविवराचे वस्तुमान तब्बल १४२ M_{\odot} आहे, LIGO-Virgo निरीक्षणांच्या यादीतील मोठ-मोठ्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानाच्या आवाक्याच्या बाहेर! विलीनीकरणअखेर राहिलेल्या कृष्णविवराचे वस्तुमान जोडीच्या एकूण वस्तुमानापेक्षा ८ M_{\odot} ने कमी झाले. ह्या ८ M_{\odot} च्या ऊर्जेचे गुरुत्वाकर्षण लहरींत रूपांतर झाले.



पटल क्रमांक २: GW190521 ला जन्म देणाऱ्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानाचे अंदाज येथे संभवनीय वितरणातून दर्शवले गेले आहेत. LIGO-Virgo च्या विश्लेषणानुसार कृष्णविवरांचे वस्तुमान मधल्या पटलातील निळ्या रुपरेपेच्या आत असण्याची 90% शक्यता आहे (ज्यात दोन्ही कृष्णविवरांच्या वस्तुमानाचे संभवनीय निकष दर्शवले आहेत). तसेच इतर दोन आडव्या आणि उभ्या घंटाकृती वक्राकार आकृत्यांमध्ये कृष्णविवरांचे वैयक्तिक वस्तुमान रेखांकित केले गेले आहे. मधल्या पटलातील राखाडी भाग LIGO-Virgo च्या धारणेनुसार, प्राथमिक कृष्णविवराचे वस्तुमान हे दुय्यम कृष्णविवराच्या वस्तुमानाच्या तुलनेत नेहमी सम अथवा अधिक असल्याची पुष्टी देतो.

GW190521 इतके विलक्षण का?

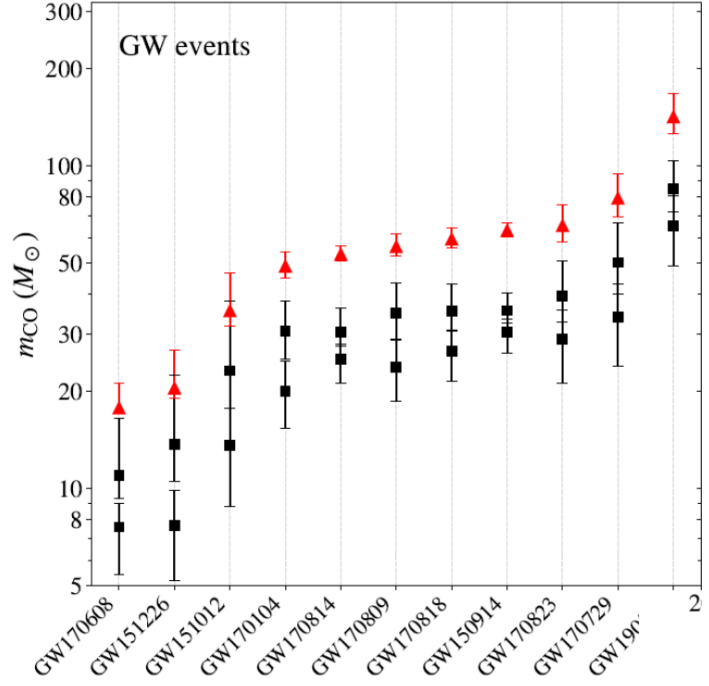
GW190521 ला निर्माण करणाऱ्या अतिविशाल कृष्णविवरांचे महत्व केवळ LIGO-Virgo उपकरणांच्या क्षमतांची बढाई मारण्यापलीकडचे आहे. ह्या शोधामुळे कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीच्या आपल्या ज्ञानाला आव्हान मिळते, तसेच गुरुत्वाकर्षणाचे कार्य नेमके कश्या प्रकारे चालते हे समजून घेण्यासाठी देखील अश्या शोधांचा अपूर्व प्रयोगशाळा म्हणून उपयोग केला जाऊ शकतो.

मोठ्या कृष्णविवरांची निर्मिती

खगोलशास्त्रज्ञ कृष्णविवरांचे विभागीकरण त्यांच्या वस्तुमानांच्या आधारे करतात. ह्या विभागीकरणात टोकांना कृष्णविवरांची उत्पत्ती देखील समाविष्ट असते, ज्यामुळे ह्या विभागीकरणाला विशेष महत्व आहे. बहुतांश तारकामंडळांच्या मध्यभागी "अतिविशाल" कृष्णविवरे ("supermassive" blackholes) स्थित आहेत, ज्यांचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाचा काही शेकडो पट ते कित्येक अब्ज पट असू शकते. आपल्या आकाशगंगेच्या [मध्यभागी एक अतिविशाल कृष्णविवर](#) स्थित आहे ज्याचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या तब्बल ४ दशलक्ष पट आहे! नेमक्या कोणत्या प्रक्रियांनी ह्या महाकाय कृष्णविवरांची निर्मिती होते हे सध्या तरी एक मोठे गूढ आहे.

तरीसुद्धा, असे सांगता येते कि, अश्या कृष्णविवरांची निर्मिती प्रक्रिया तेव्हा सुरु झाली असावी जेव्हा हे विश्व तुलनेने तरुण होते, जेणेकरून ह्या कृष्णविवरांना इतक्या विशालकाय वस्तुमानांपर्यंत वाढता आले.

कृष्णविवरांच्या विभागीकरणाच्या दुसऱ्या टोकाला सामान्य ताऱ्यांच्या वस्तुमानाची कृष्णविवरे ("stellar mass" blackholes) आढळतात. ज्यांची उत्पत्ती विशाल ताऱ्यांच्या केंद्राला गुरुत्वाकर्षण बलाच्या शक्तीने सामावून घेऊन अंततः ताऱ्यांच्या झालेल्या सुपरनोवा स्फोटामुळे होत असण्याचे समजले जाते. अश्या कृष्णविवराचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या साधारण काही पट ते काही दहा पट असते आणि अश्या कृष्णविवरांच्या जोड्यांच्या एकीकरणांतून निर्माण झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी VIRGO आणि LIGO क्षमतांच्या उपकरणांत आतापर्यंत टिपल्या गेल्या आहेत.



सामान्य ताऱ्यांच्या वस्तुमानाची कृष्णविवरे आणि महाकाय कृष्णविवरे ह्यांच्या मध्ये आढळते क्षेत्र ते गूढ अश्या माध्यमिक कृष्णविवरांचे. अश्या कृष्णविवरांचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या १०० ते १०,००० पट असू शकते. आजतागायत अश्या माध्यमिक कृष्णविवरांचे निरीक्षण करणे शक्य झालेले नाही. परंतु त्यांच्या उत्पत्तीच्या विविध संभावनांचा विचार करण्यात आलेला आहेत. जसजशा विद्युत चुंबकीय लहरी टिपणाऱ्या दुर्बिणींत आणि गुरुत्वाकर्षण लहरी टिपणाऱ्या उपकरणांत दिवसेंदिवस प्रगती होत आहे, तसतसे अश्या माध्यमिक कृष्णविवरांच्या निरीक्षणांकडे अधिकाधिक सजगतेने पाहिले जात आहे.

पटल क्रमांक ३: आलेखात GW190521 च्या घटक कृष्णविवरांचे वस्तुमान आणि त्यांच्या तुलनेत आतापर्यंत LIGO-Virgo च्या पहिल्या आणि दुसऱ्या फेरीत शोधल्या गेलेल्या इतर कृष्णविवरांच्या वस्तुमानातील फरक दर्शवला आहे. घटक वस्तुमान काळ्या चौकोनी आकृतींनी दर्शवले आहेत. प्रत्येक निरीक्षणाच्या बाबतीत विलीनीकरण-अखेर उरलेल्या कृष्णविवराचे वस्तुमान लाल त्रिकोणांनी दर्शवले आहे. सर्व निरीक्षणांच्या बाबतीत उभ्या रेषा त्यांच्या वस्तुमानाच्या अंदाजात असणाऱ्या संभाव्य अनिश्चितता दर्शवतात. GW190521 च्या विक्रमी वस्तुमानाचे दर्शन येथे सहजपणे घडते. सौजन्य: GW190521 चे खगोलीय परिणाम या शोधनिबंधातील पटल क्रमांक १०.

अवजड ताऱ्यांच्या कार्यप्रणालीबद्दलच्या आपल्या सैद्धांतिक अभ्यासावर आणि तसेच कृष्णविवरांची निर्मिती कशी होते त्याबद्दलच्या आतापर्यंतच्या अभ्यासावर आधारित असे प्रमाणित केले जाते कि सूर्याच्या वस्तुमानाच्या तब्बल ६५ ते १३० पट वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांची निर्मिती महाकाय ताऱ्यांच्या स्फोटांतून होऊ शकत नाही. GW190521 चे निरीक्षण आपल्या ह्या सिद्धांताला आव्हान देते कारण ह्या जोडीतील अवजड कृष्णविवराचे वस्तुमान (ज्याला 'प्राथमिक' कृष्णविवर म्हणूया) त्या श्रेणीतील आहे जिथे कृष्णविवरांच्या निर्मिती सामान्य ताऱ्यांच्या विस्फोटातून थेट कृष्णविवरांची निर्मिती होण्याची शक्यता नाकारली जाते आणि विलीनीकरणानंतर जन्मलेले शेष कृष्णविवर माध्यमिक कृष्णविवरांच्या श्रेणीतील असू शकते. GW190521 चे निरीक्षण असे सुचवते कि ताऱ्यांमुळे अवजड कृष्णविवरांची निर्मिती होऊ शकते किंवा काही LIGO-Virgo कृष्णविवरांची निर्मिती इतर मार्गांनी झाली असावी- किंबहुना दोन लहान कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणातून एक मोठे कृष्णविवर तयार होऊन पुन्हा त्याचे एका तिसऱ्याच कृष्णविवरांबरोबर विलीनीकरण होणे. अश्या एकाहून जास्त विलीनीकरणाच्या प्रक्रिया यशस्वी होण्यासाठी विशेष वातावरणाची गरज असते जिथे अनेक कृष्णविवरांचे सान्निध्य असावे लागते. याबाबतीत खगोलशास्त्रज्ञांनी काही पर्याय सुचवले आहेत- उदाहरणार्थ अनेक ताऱ्यांची बनलेली दाट पुंजके (clusters of stars) अथवा सक्रिय तारकामंडळांची केंद्रे (active galactic nuclei).

GW190521 च्या निरीक्षणाने हे ही सुचवले कि माध्यमिक कृष्णविवरांच्या क्षेत्राचा काही भाग सामान्य ताऱ्यांच्या वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांनी व्यापलेला असू शकतो. तसेच महाकाय कृष्णविवरांची निर्मिती देखील अश्या प्रकारे होऊ शकते.

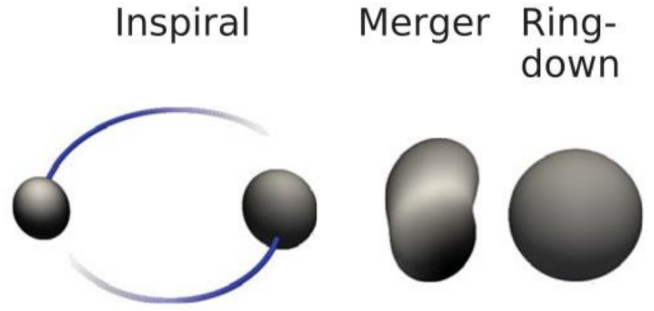
गुरुत्वाकर्षणाबद्दलच्या आपल्या ज्ञानाची परीक्षा

गुरुत्वाकर्षणाबद्दलचे आपले ज्ञान थोर शास्त्रज्ञ अल्बर्ट आइनस्टाइन यांच्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतातून ([General Theory of Relativity - 'GR'](#)) मांडले जाऊ शकते. खगोलशास्त्रज्ञ ह्या सिद्धांताचा उपयोग कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणातून जन्माला येणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे भाकीत करण्यासाठी देखील करतात. ह्या भाकितांचा वापर VIRGO आणि LIGO उपकरणांच्या डेटा मधून गुरुत्वाकर्षण लहरी शोधण्यासाठी केला जातो आणि दुसऱ्या बाजूला, गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षणांचा उपयोग ह्या सिद्धांताच्या अंदाजांची तपासणी करण्यासाठी करता येतो. तसेच ह्या संकल्पनेव्यतिरिक्त उद्धवणाऱ्या इतर शक्यतांचा अभ्यास देखील करता येतो, जेणेकरून गुरुत्वाकर्षणाबाबतच्या इतर सिद्धांतांच्या अनुरूपतेची देखील पडताळणी करता येते.

गुरुत्वाकर्षण लहरींना आधुनिक भौतिकशास्त्राच्या प्रयोगशाळा म्हणून वापरणे हे अगदीच नवीन नाही. ह्यापूर्वी देखील LIGO-Virgo मधून सापडलेल्या लहरींचा ह्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या परीक्षेच्या उद्देशासाठी उपयोग करण्यात आला आहे. मग आता GW190521 मध्ये नवीन असे काय आहे?

कृष्णविवरांच्या एकीकरणातून उद्धवणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरी तीन टप्प्यांतून अभ्यासल्या जातात (पटल क्रमांक ४ पहा): प्रथमतः "परिभ्रमण" (inspiral)

जेथे दोन्ही कृष्णविवरे अनुकूल अंतरावर एकमेकांभोवती फिरत असतात, त्यानंतरचा टप्पा म्हणजे "विलीनीकरण" (merger) अर्थात जेव्हा ती कृष्णविवरे एकमेकांत सामावून जातात आणि अंततः येतो स्पंदनांच्या तीव्रता कमी कमी होत जाण्याचा (ringdown) टप्पा जेव्हा विलीनीकरणाअखेर उरलेले कृष्णविवर एखाद्या घटेप्रमाणे स्पंदनांचे उत्सर्जन करते आणि हळू हळू शांत होते.



पटल क्रमांक ४: कृष्णविवरांच्या एकीकरणातून उद्धवणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे तीन टप्पे येथे व्यंगत्मक चित्रांनी दर्शवण्यात आले आहेत.

यापूर्वी नोंदवल्याप्रमाणे, LIGO-Virgo मध्ये टिपल्या जाणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरी भिन्न कालावधीसाठी आणि वस्तुमानानुसार भिन्न स्पंदनांच्या तीव्रतेवर सापडतात. यामुळे निरीक्षक उपकरणे ह्या लहरींच्या वेगवेगळ्या टप्प्यांवर अनुक्रमे वेगवेगळ्या स्थरावर संवेदनशील असतात. लहान वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांपासून उत्सर्जित झालेल्या लहरी परिभ्रमण आणि विलीनीकरणाच्या टप्प्यात अधिक ठळकपणे ह्या उपकरणांत नोंदल्या जातात. तसेच अतिविशाल अवजड वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांपासून उत्सर्जित झालेल्या GW190521 च्या लहरी विलीनीकरण आणि स्पंदनांच्या तीव्रता कमी होत जाण्याच्या टप्प्यात अधिक ठळकपणे नोंदल्या जातात.

आताप्रमाणे शोध लागलेल्या सर्व कृष्णविवरांच्या अभ्यासातून सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांताची चोखपणे पडताळणी करण्यात आली आणि तसेच GW190521 च्या लहरींचा देखील यासाठी वापर करण्यात आला. सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांताने सर्व कृष्णविवरांच्या परीक्षा यशस्वीपणे पार केल्या आहेत. ह्यापैकी एक चाचणी म्हणजे ringdown टप्प्याला inspire आणि merger टप्प्यांपासून अलग करून त्यांची एकमेकांशी असणारी सुसंगती पडताळणे. गुरुत्वाकर्षणाबाबतच्या इतर(विलीनीकरणापेक्षा वेगळ्या शक्यता असणाऱ्या) सिद्धान्तांतून उद्भवणारी अतिरिक्त वैशिष्ट्ये तपासून पाहणे अश्या चाचण्या देखील करून पाहण्यात आल्या.

अश्या कोणत्याही अतिरिक्त चाचण्यांतून GW190521 ची उत्पत्ती सामान्य सापेक्षतावादानुसार वर्तवलेल्या विलीनीकरांतून झाली नसावी असे सिद्ध झाले नाही.

सारांश

GW190521 च्या विक्रमी निरीक्षणाने आपल्या कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीबद्दलच्या ज्ञानाला आव्हान दिले, तसेच अत्यंत जटिल गुरुत्वाकर्षणाचा अभ्यास करण्याचा एक नवा मार्ग खुला करून दिला. ह्या निरीक्षणामुळे अवजड वस्तुमानाच्या अश्या कृष्णविवरांकडे देखील लक्ष वेधले गेले ज्यांचा [शोध भविष्यात LIGO \(LIGO-India](#) च्या उपकरणाचा समावेश असताना), [Virgo](#) आणि [जपानच्या KAGRA](#) उपकरणांमार्फत एकत्रितपणे घेतला जाईल.

सामान्य ताऱ्यांच्या वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांच्या गटात अत्यंत टोकाच्या कृष्णविवरांच्या अभ्यासामुळे त्यांच्या उत्पत्तीबद्दल, त्यांच्यासाठी अनुकूल असणाऱ्या वातावरणाबद्दल अधिक स्पष्टपणे माहिती गोळा करता येईल. सध्या GW190521 सर्वात विशालकाय कृष्णविवरांपासून निर्मित असल्याची प्रौढी मिरवत असले तरीही हे जास्त काळ टिकणार नाही. LIGO, Virgo आणि KAGRA अश्याच प्रकारे प्रगत तंत्रज्ञानाच्या आधारे आणि विशेषतः हलक्या स्पंदनांच्या क्षेत्रात अधिक कार्यक्षम होऊन अधिकाधिक अवजड कृष्णविवरांच्या शोध घेत राहतील. [Einstein Telescope](#) आणि [Cosmic Explorer](#) सारखी अतिप्रगत उपकरणे पृथ्वीवरून तसेच [LISA](#) सारखे उपकरण अवकाशातून अश्या शोधांसाठी सज्ज केली जात आहेत. गुरुत्वाकर्षण खगोलशास्त्रातील नवनवीन विक्रम स्थापित करून मग तेच विक्रम मोडीत काढण्यासाठी सज्ज होऊया!

अधिक जाणून घ्या

आमच्या संकेतस्थळांना भेट द्या:

www.ligo.org, www.virgo-gw.eu

LIGO आणि Virgo च्या प्रसिद्धिपत्रकांद्वारे GW190521 च्या शोधाबद्दल माहिती:

www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf

<http://www.virgo-gw.eu/GW190521>

मुक्तपणे उपलब्ध असणारा GW190521 चा शोधनिबंध येथे वाचा:

<https://dcc.ligo.org/P2000020/public>

GW190521 च्या वैज्ञानिक परिणामांबद्दल उपलब्ध असणारा शोधनिबंध येथे वाचा:

<https://dcc.ligo.org/P2000021/public>

GW190521 च्या मुक्तपणे उपलब्ध असणाऱ्या डेटा साठी या संकेतस्थळाला भेट द्या.

https://www.gw-openscience.org/eventapi/html/O3_Discovery_Papers/