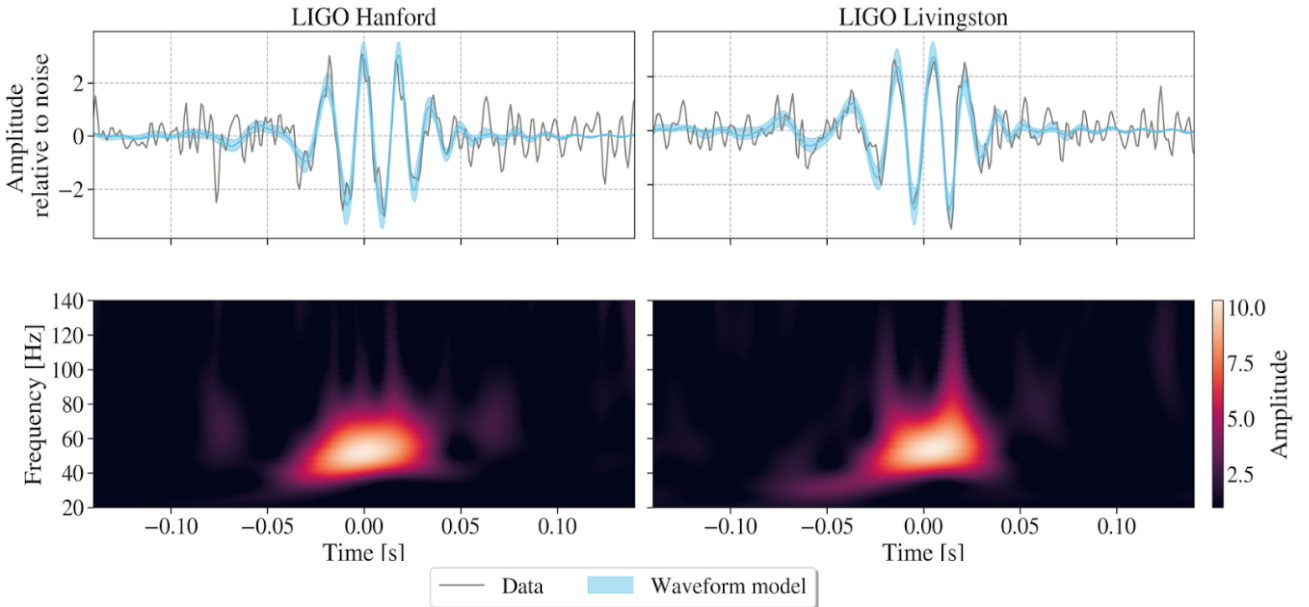


GW231123: गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या माध्यमातून आढळलेली आतापर्यंतची सर्वात मोठी कृष्णविवरांची जोडगोळी

२३ नोव्हेंबर २०२३ रोजी, १३:५४:३० UTC वाजता, आढळलेल्या गुरुत्वाकर्षण-लहरी ह्या सर्वात जास्त एकत्रित वस्तुमान असलेल्या दोन कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणामुळे निर्माण झाल्या असतील, असा LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) आंतरराष्ट्रीय वैज्ञानिक मंडळाचा निष्कर्ष आहे. ही कृष्णविवरे अत्यंत मोठ्या वेगाने स्वतःभोवती फिरत असून त्यांचे वस्तुमान अशा श्रेणीत मोडते कि जिथे भव्य तारे कसे उत्क्रांत होतात आणि त्यांचे जीवन कसे संपते याबद्दल विद्यमान सिद्धांतांना आव्हानच आहे .

लहरींचा शोध:

चौथ्या LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) निरीक्षणकालावधीत (O4a) हॅनफोर्ड आणि लिक्विंग्स्टन येथील प्रगत LIGO उपकरणांनी या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे निरीक्षण केले आहे. या दोन्ही उपकरणांमधील समन्वय या शोधासाठी अत्यंत आवश्यक होते. **आकृती १** मध्ये दाखवलेल्याप्रमाणे, या लहरींचा कालावधी साधारणपणे **०.१ सेकंद** असून, ह्या लहरी आतापर्यंत दिसलेल्या लहरींपेक्षा **२० पट** अधिक स्पष्टपणे दिसतात. खूपदा उपकरणातील तांत्रिक दोषानेही अशाप्रकारचे तरंग निर्माण होऊ शकतात. आम्ही काळजीपूर्वक अनेक तपासण्या करून खात्री पटवून घेतली कि अशाप्रकारच्या दोषामुळे निर्माण होण्याचे प्रणाम हे जवळजवळ १०००० वर्षात एकदा इतके दुर्मिळ आहे.



आकृती १: LIGO हॅनफोर्ड (डावीकडे) आणि लिक्विंग्स्टन (उजवीकडे) येथील उपकरणांमध्ये GW231123 या घटनेचा संकेतनिर्देश (signal) पाहण्यात आला. वरच्या पॅनेलमध्ये, करड्या रंगाच्या रेषांद्वारे (grey traces) वेळेनुसार लहरींचा आयाम (amplitude) दाखवलेला आहे. निळ्या रंगांमध्ये (shaded blue band) आमच्या अभ्यासानुसार दर्शविलेला अंदाज आहे. खालील पॅनेलमध्ये स्पेक्ट्रोग्राम्स (spectrograms) दाखवले आहेत, ज्यांना काल-वारंवारिता नकाशे (time-frequency maps) असेही संबोधले जाते. यामध्ये आडव्या (horizontal axis) आणि उभ्या (vertical axis) अक्षांवर अनुक्रमे वेळ आणि वारंवारिता (frequency) दाखवलेली आहे. यावरील उजळ रंग जास्त तीक्ष्ण स्वरूप दर्शवतात.

अवकाशीय स्रोत:

सखोल अभ्यावरून असे निष्कर्षात आले कि या गुरुत्वीय लहरी दोन कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणामुळे निर्माण झाल्या आहेत. या कृष्णविवरांविषयी अधिक माहिती मिळवण्यासाठी आम्ही आइन्स्टाईन यांच्या सामान्य सापेक्षतेच्या सिद्धांतावर (General Theory of relativity) आधारित विविध गणिती मॉडेल्स वापरले.

या मॉडेल्सच्या वास्तविक मोजमापांशी साधर्म्य साधताना आम्हाला आढळले की या कृष्णविवरांचे वस्तुमान क्रमशः सुमारे १३७ आणि १०३ सूर्यांच्या वस्तुमानांच्या आसपास आहे. सर्व अनिश्चितता लक्षात घेतल्यास, त्यांच्या एकत्रित वस्तुमानाचा अंदाज सुमारे १९० ते २६५ सूर्यांच्या वस्तुमानांच्या दरम्यान आहे, ज्यामुळे ते आतापर्यंत नोंदवलेल्या सर्वात मोठ्या कृष्णविवर जोड्यांपेक्षा (जसे की GW190521) बरेच मोठे आहेत.

अधिक जाणून घेण्यासाठी:

आमच्या संकेतस्थळाला भेट द्या:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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



हे दोन्ही कृष्णविवर सैद्धांतिकदृष्ट्या शक्य असलेल्या कमाल वेगाच्या जवळपास फिरत असल्याचे आढळले. त्यामुळे GW231123 ही सगळ्यात जास्त वस्तुमान असलेली आणि सर्वात जलद गतीने फिरणारी जोडी ठरली आहे. या विलीनीकरणामुळे सुर्याच्या वस्तुमानाच्या १८२ ते २५१ पट वस्तुमान असलेले एक कृष्णविवर निर्माण झालेले असून ते 'मध्यम-वस्तुमान कृष्णविवर' (intermediate mass black hole) अशा दुर्मिळ वर्गात मोडते. GW231123 आणि GW190521 ही दोन कृष्णविवर मध्यम-वस्तुमान कृष्णविवर याच दुर्मिळ वर्गात मोडतात.

हे गुणधर्म इतके मनोरंजक का आहेत?

सध्याच्या तारकीय उत्क्रांतीवरील सिद्धांतानुसार सुर्याच्या वस्तुमानाच्या सुमारे ६० ते १३० पट अधिक वस्तुमान असलेली कृष्णविवरे दुर्मिळ किंवा अस्तित्वातच नसावीत, असे मानले जाते. या वस्तुमानवर्गाला 'कृष्णविवर वस्तुमानातली फट' (black hole mass gap) असे संबोधले जाते. [पेर-इंस्टेबिलिटी सुपरनोव्हा](#) किंवा [पल्सेशनल पेर-इंस्टेबिलिटी सुपरनोव्हा](#) या प्रक्रियांद्वारे मोठ्या ताऱ्यांच्या वस्तुमानामधील काही भाग विस्फोटपूर्वीच बाहेर पडतो, त्यामुळे अवजड कृष्णविवरे तयार होणे शक्य होत नाही.

परंतु GW231123 ही घटना वरील सिद्धांतास अपवाद ठरली आहे. या जोडीतील लहान कृष्णविवर "कृष्णविवर वस्तुमानातल्या फटीत" (mass gap) असण्याची शक्यता ८३% आहे, तर मोठ्या कृष्णविवराची शक्यता २६% आहे. यावरून पारंपरिक तारकीय उत्क्रांतीचे मॉडेल अशा कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीचे पूर्णतः स्पष्टीकरण देत नाही, हे स्पष्ट होते.

एक शक्यता अशीही वर्तवली जात आहे की हे दोन्ही कृष्णविवरे पूर्वीच्या कृष्णविवर विलीनापासून तयार झाले असावेत. यामुळे त्यांच्या असाधारण वस्तुमानाचे आणि जलद गतीने फिरण्याचे कारण स्पष्ट होते. तसेच ही कृष्णविवरे एखाद्या अतिशय दाट खगोलीय वातावरणात उदा. [न्युक्लियर स्टार क्लस्टर](#) किंवा सक्रिय तारकामंडळ केंद्रकामधे ([एक्टिव्ह गॅलेक्टिक न्युक्लीअस](#)) राहत असावीत, जिथे कृष्णविवरांचे विलनीकरण मोठ्या प्रमाणात होते. अशा दाट वातावरणात कृष्णविवरांच्या कशा लंबवर्तुळाकार होऊ शकतात. परंतु आमचे सध्या वापरले जाणारे मॉडेल हे गृहीत धरते की कृष्णविवरे जवळजवळ गोलाकार कक्षेत असून गुरुत्वाकर्षण लहरी उत्सर्जित करताना एकंदरीत त्यांचे कक्षाफळ हळूहळू कमी होते. जर कक्षा अत्यंत लंबवर्तुळाकार असतील, तर त्यातून उत्सर्जित होणाऱ्या गुरुत्वीय लहरी थोड्या वेगळ्या असू शकतील. ह्याचा समावेश आमच्या मॉडेलमध्ये करण्यात आलेला नाही आहे. GW231123 साठी या शक्यतेची पडताळणी करणे अजून बाकी असून कदाचित अधिक प्रगत मॉडेल्सची गरज भासत आहे. याशिवाय, इतर पर्यायी घटना उदा. [gravitational lensing](#), [आदिम कृष्णविवर](#) (primordial black holes), [कोर-कोलॅप्स सुपरनोव्हा](#), [बोसॉन स्टार विलीन](#), आणि [कॉस्मिक स्ट्रिंग](#) ज्यांमुळे असा अशा प्रकारचा तरंग निर्माण होण्याची शक्यता फार कमी आहे.

विलीनीकरणाचे अंतिम क्षण

आतापर्यंत, LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) या उपकरणांनी सुमारे ३०० कृष्णविवर विलीनीकरणांचे निरीक्षण केले असून यापैकी बहुतेक घटनांमध्ये, सुरुवातीचा टप्पा (जेव्हा दोन कृष्णविवर एकमेकांच्या दिशेने फिरत एकत्र येतात) सर्वाधिक स्पष्टपणे पाहता येतो. मात्र GW231123 या घटनेमध्ये शेवटचा भाग (विलीनीकरण आणि त्यानंतरचा '[रिंगडाउन](#)' टप्पा) अत्यंत स्पष्टपणे पाहता आला.

या संकेताची सापेक्षतावादाच्या (जनरल रिलेटिव्हिटी) भाकितांशी तुलना केली असता कृष्णविवरांचे रिंगडाउन कसे होते याबद्दल आम्हाला सिद्धांत आणि निरीक्षण यांच्यामध्ये बरेच साम्य आढळले. परंतु, GW231123 च्या अत्यंत विशेष गुणधर्मांमुळे आमच्या मॉडेल्सची क्षमता सर्वोच्च मर्यादेपर्यंत पोहोचली आहे, ज्यामुळे काही सूक्ष्म वैशिष्ट्ये स्पष्ट होऊ शकलेली नाहीत आणि आमच्या लहरींच्या नमुन्यांमध्ये सुधारणा करण्याची आवश्यकता दिसून येते.

निष्कर्ष

काही वर्षांपूर्वी, [GW190521](#) या शोधाचा आढावा घेताना आम्ही म्हटले होते की "विक्रम हे मोडण्यासाठीच असतात". आता, GW231123 या घटनेने पुन्हा एकदा हे सिद्ध केले आहे, ज्यामुळे आमच्या विद्यमान मॉडेल्सच्या मर्यादा आणि त्यात सुधारणा करण्याची आवश्यकता अधोरेखित झाली आहे. 'कृष्णविवर वस्तुमानातली फट' यामध्ये मोडणाऱ्या कृष्णविवरांची उपस्थिती आणि सैद्धांतिक कमाल मर्यादिला भिडणारा त्यांच्या फिरण्याचा वेग (स्पिन) ही वैशिष्ट्ये यामुळे हा शोध जितका विलक्षण तितकाच कोड्यात टाकणारा ठरला आहे. ही घटना पारंपरिक तारकीय उत्क्रांतीच्या चौकटीपल्याड जाऊन कृष्णविवर निर्मितीचे पर्यायी मार्ग शोधण्यास प्रवृत्त करते. गुरुत्वीय तरंगांच्या माध्यमातून आपण विश्वाचे कानोसा घेत असताना, GW231123 आपल्याला सतत आठवण करून देते की अवकाशात अजूनही असंख्य आश्चर्ये लपलेली आहेत आणि ती उलगडण्याची आपली घोडदौड फक्त आता सुरू झाली आहे.

अधिक जाणून घेण्यासाठी:

आमच्या संकेनस्थळाला भेट द्या:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

संपूर्ण वैज्ञानिक लेखाची मोफत प्रीप्रिंट [येथे](#) वाचा.

GW231123 साठी गुरुत्वाकर्षण-वेव्ह ओपन सायन्स सेंटर डेटा रिलीज [येथे](#) उपलब्ध आहे.