

GW १९०४१२: असमान वस्तुमानांच्या कृष्णविवरांपासून उत्पन्न झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे पहिले वहिले निरीक्षण

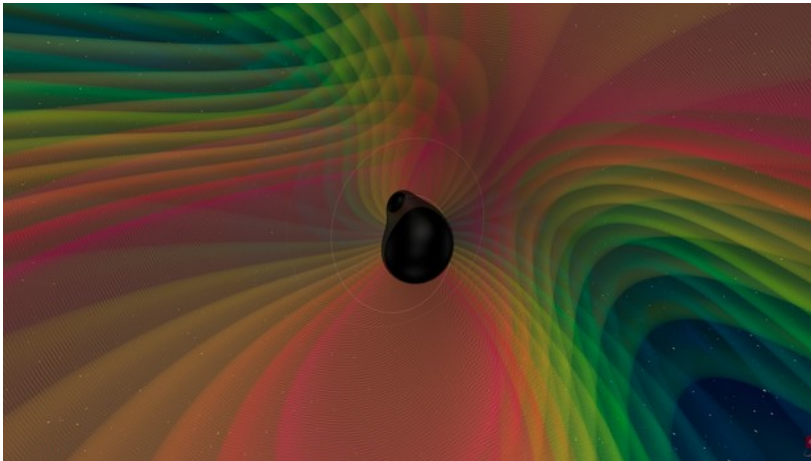
१२ एप्रिल २०१९ रोजी सकाळी ११ वाजल्यानंतर (भारतीय प्रमाणित वेळेनुसार) काही क्षणांतच LIGO वैज्ञानिक मंडळ आणि Virgo मंडळ यांच्या संयुक्त विद्यमाने दोन कृष्णविवरांच्या एकमेकांभोवती फिरून अंततः त्यांच्या विलानीकरणामुळे निर्माण होणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचे (Gravitational Waves: GW) निरीक्षण केले.

ही घटना, अर्थात GW190412, LIGO वैज्ञानिक आणि Virgo मंडळाच्या तीनही निरीक्षक उपकरणांनी टिपली. अमेरिकेतील Hanford–Washington मधील उपकरण, Livingston–Louisiana मधील उपकरण आणि इटली मधील Cascina येथील Virgo हिच ती उपकरणे.

अनेक भारतीय वैज्ञानिक संस्थांच्या शास्त्रज्ञांनी ह्या अभ्यासात भाग घेऊन ह्या अद्वितीय शोधासाठी महत्वपूर्ण योगदान दिले .

शोधाची ठळक वैशिष्ट्ये

- पहिले कृष्णविवरांच्या जोड्यांच्या विलीनीकरणाचे निरीक्षण ज्यात निश्चितपणे दोन्ही कृष्णविवरांचे वस्तुमान असमान आहे – एक कृष्णविवर दुसऱ्या कृष्णविवराच्या ३ पट अधिक जड आहे.
- वस्तुमानातील ह्या असमानतेचे काही विशेष परिणाम होतात: आपण कृष्णविवरांचे पृथ्वीपासूनचे अंतर, त्यांच्या एकमेकांभोवती फिरण्याच्या कक्षेचा पृथ्वीपासूनचा कल, तुलनेने जड असणाऱ्या कृष्णविवरांचे परिभ्रमण आणि ह्या जोडीच्या कक्षेच्या कलेत होणारे बदल, इत्यादी घटकांचे अधिक प्रभावीपणे मोजमाप करू शकतो.
- तुलनेने मोठे असणारे कृष्णविवर सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार आखून दिलेल्या परिभ्रमणाच्या महत्तम मर्यादेच्या ४०% परिभ्रमणाने फिरत असल्याचे आमच्या लक्षात आले. तसेच, GW190412 लहरी पृथ्वीपासून अंदाजे २.५ अब्ज प्रकाशवर्षे दूर उदयास आल्या हे आपणास कळले.
- तसेच अश्या असमान वस्तुमानाच्या व्यवस्थेमुळे आपण थोर शास्त्रज्ञ अल्बर्ट आइनस्टाइन ह्यांच्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांताच्या एका मूलभूत अंदाजाची पडताळणी करू शकलो: गुरुत्वाकर्षण लहरींमध्ये एकापेक्षा अधिक कक्षीय कंपने समाविष्ट असतात.
- कृष्णविवरांच्या जोड्यांबद्दलच्या आपल्या ज्ञानात आणखी एक मोलाची भर पडली: असमान वस्तुमानाच्या अश्या कृष्णविवरांच्या जोड्या ह्या विश्वात त्या मानाने सर्वसामान्य आहेत आणि भविष्यात अश्या अनेक जोड्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या माध्यमातून आपल्या भेटीस येतील.



थेट समोरासमोर होणारे कृष्णविवरांचे विलीनीकरण: गणितीय नमुन्यांतून केलेले GW190412 घटनेचे (कृष्णविवरांचे एकमेकांभोवती फिरून अंततः एकमेकात सामावून जाण्याचे) चित्रण. हि घटना LIGO आणि VIRGO च्या गुरुत्वीय लहरींचा शोध

घेणाच्या निरीक्षक उपकरणांनी १२ एप्रिल २०१९ रोजी टिपली. एक कृष्णविवर दुसऱ्याच्या तब्बल ३.५ पटीने मोठे आहे आणि त्याच्या परिभ्रमणाने ह्या जोडीच्या कक्षेचा काळ कलंडलेला आहे. **सौजन्य:** न. फिशर, ह. फायफर, अ. बुअनांनो (Max Planck Institute for Gravitational Physics), Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) Collaboration.

GW190412 ला जाणून घेऊया

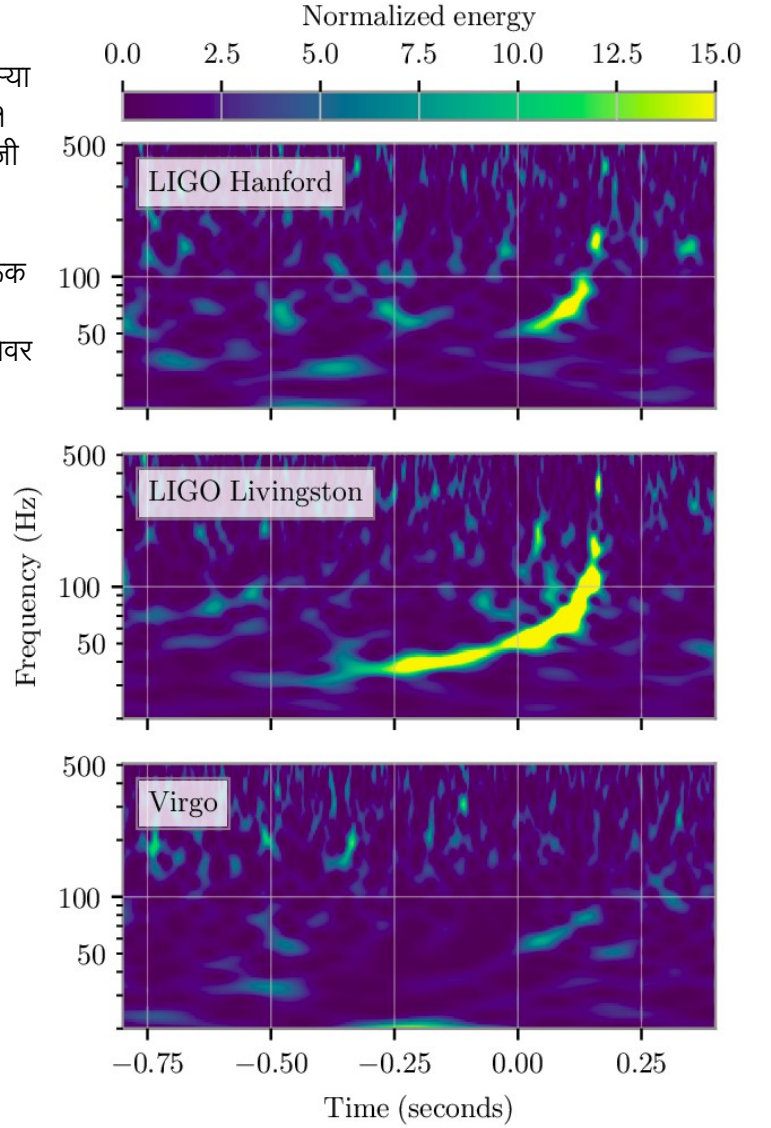
GW190412 चे निरीक्षण प्रगत LIGO आणि VIRGO च्या तिसऱ्या निरीक्षण फेरीत (O3 फेरीत) झाले होते. ह्या फेरीची सुरुवात १ एप्रिल २०१९ रोजी झाली आणि सांगता २७ मार्च २०२० रोजी करण्यात आली.

ह्या गुरुत्वाकर्षण लहरींना उत्पन्न करणाऱ्या कृष्णविवरांचे वैयक्तिक वस्तुमान आत्तापर्यंतच्या आमच्या निरीक्षणांती सापडलेल्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानाशी सुसंगत आहे. ह्यापैकी एक कृष्णविवर सूर्याच्या वस्तुमानाचा ३० पट आहे तर दुसरे सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ८ पट. किंबहुना, त्यांच्या वस्तुमानाचे गुणोत्तर (हलक्या कृष्णविवराचे वस्तुमान भागिले जड करणाविवराचे वस्तुमान) आत्तापर्यंतच्या सापडलेल्या कृष्णविवरांच्या जोड्यांच्या वस्तुमानाच्या गुणोत्तरापेक्षा अतिभीन्न आहे.

वस्तुमानातली ही असमानता गुरुत्वाकर्षण लहरींमध्ये काही अश्या प्रकारे बदल घडवते कि ज्यामुळे आपण अनेक घटकांचे अधिक सफाईने मोजमाप करू शकतो. उदाहरणार्थ : कृष्णविवरांचे पृथ्वीपासूनचे अंतर, त्यांच्या एकमेकांभोवती फिरण्याच्या कक्षेचा पृथ्वीपासूनचा कल, तुलनेने जड असणाऱ्या कृष्णविवरांचे परिभ्रमण आणि ह्या जोडीच्या कक्षेच्या कलेत होणारे बदल.

GW190412 गुरुत्वाकर्षण लहरी पृथ्वीपासून तब्बल २.५ अब्ज प्रकाशवर्ष दूर उदयाला आल्याचे समजते. आम्हाला ह्या कृष्णविवरांचा प्रभावी परिभ्रमणाचा आकडा घन असल्याचे लक्षात आले, ज्यामुळे आपण सांगू शकतो कि ह्या दोन कृष्णविवरांपैकी किमान एका तरी कृष्णविवराच्या परिभ्रमणाचा कल त्यांच्या एकत्रित कक्षेच्या कलाच्या जवळ होता. आमच्या असेही लक्षात आले की, तुलनेने मोठे असणारे कृष्णविवर सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार आखून दिलेल्या परिभ्रमणाच्या महत्तम मर्यादेच्या ४०% परिभ्रमणाने फिरत होते.

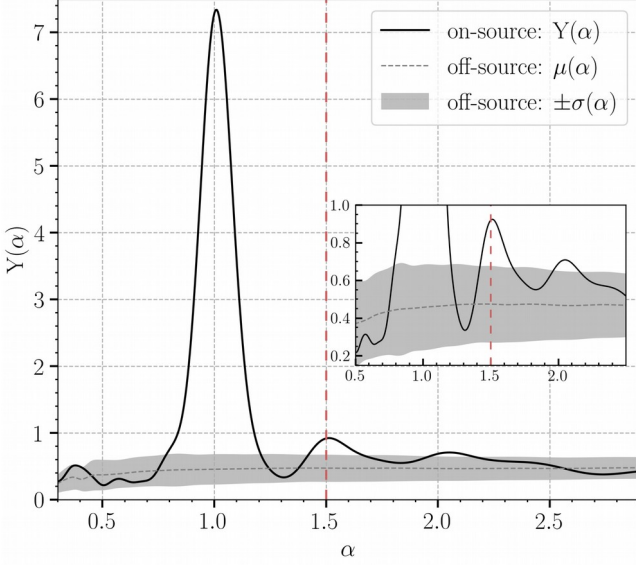
तसेच अश्या असमान वस्तुमानांच्या व्यवस्थेमुळे आपण थोर शास्त्रज्ञ अल्बर्ट आइनस्टाइन ह्यांच्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांताच्या एका मूलभूत अंदाजाची पडताळणी करू शकलो: गुरुत्वाकर्षण लहरींमध्ये एकापेक्षा अधिक कक्षीय कंपने समाविष्ट असतात, ज्यांना higher harmonics (साधारणतः 'उच्च ताल') म्हटले जाते.



पटल क्रमांक १: ३ गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षक उपकरणांत नोंदवण्यात आलेला GW190412 चा 'spectrogram'. आडवा अक्ष वेळेची नोंद दाखवत आहे व उभा अक्ष कंपनांच्या (frequency) मापनाची नोंद दाखवत आहे. विविध रंग कंपनांच्या विविध क्षमतांचे प्रमाण देत आहेत. एक विशिष्ठ खूण (कमी स्पंदनापासून जास्त स्पंदनापर्यंत वेळेनुसार वाढणारा संकेत) येथे टिपला जाऊ शकतो. जसजशी कृष्णविवरे एकमेकांच्या अधिकाधिक जवळ येत आहेत तसतसा हा संकेत गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या वाढत जाणाऱ्या उत्सर्जनाचा आढावा घेत आहे. अंततः दोन्ही कृष्णविवरे एकमेकांत विलीन होतात.

Higher harmonics (उच्च ताल) चा ध्वनी

GW190412 च्या अनन्यसाधारण गुणांमुळे आपणांस गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या मूलभूत गुणांचा अभ्यास करण्याचीही संधी मिळाली.



पटल क्रमांक २: बहुध्रुवीय गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या ऊर्जेचे मापन येथे केले आहे. आडव्या अक्षावरील अल्फा (α) घटक विविध बहुध्रुवांचे निदर्शन करतो. $\alpha = 1$ म्हणजे सर्वाधिक प्रबळ बहुध्रुवीय स्पंदने आणि $\alpha = 1.5$ म्हणजेच त्या खालोखाल ऊर्जा असलेली सर्वात प्रबळ स्पंदने. उभा अक्ष एकंदरीत बहुध्रुवांची संचयी ऊर्जा दर्शवतो. आलेखातील सर्वोच्च शिखर सर्वाधिक प्रबळ स्पंदनांची ऊर्जा दाखवते आणि त्याच्या आजूबाजूला असणारी इतर लहान शिखरे पुढील प्रबळ स्पंदनांच्या शोधण्यास सरल अश्या ऊर्जांची ग्वाही देतात. आलेखाच्या चौकटीतील लहान आलेख ह्याच लहान शिखरांच्या व त्यांच्या ऊर्जांचा जवळून घेतलेला आढावा आहे.

आइनस्टाइनच्या आमूलाग्र अभ्यासात नंतर पुढे त्यात न्यून, पेनरोस, थॉर्न, इत्यादी अनेकांच्या अपूर्व हातभाराची भर पडल्यावर गुरुत्वाकर्षण लहरी स्वभावतः चतुष्पादी (साधारण भाषेत सांगायचे झाले तर चार ध्रुव असणाऱ्या) असल्याचे सिद्ध झाले. हे चतुष्पादी उत्सर्जन एखाद्या सतारीची अथवा गिटारची एक तार ताणल्यावर निर्माण होणाऱ्या सूरामार्फत समजले जाऊ शकते. वाद्यांप्रमाणेच गुरुत्वाकर्षण लहरी देखील उच्च ध्वन्यर्थ (साधारण भाषेत ध्वनी कंपने) उत्सर्जित करत असल्याची संभावना आहे.

अश्या उच्च कंपनांना समान वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांमुळे निर्माण होणाऱ्या लहरींमध्ये विलग करणे विशिष्टपणे कठीण असते. GW190412 च्या असमान वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांमुळे अश्या प्रकारची उच्च कंपने आपणाला अधिक प्रभावीपणे "ऐकता" आली. हा डेटा उच्चतम कंपनांच्या अस्तित्वाचे १०००:१ पेक्षा जास्त गुणोत्तराने प्रमाण देत आहे हे आम्हाला आमच्या अभ्यासात लक्षात आले!

भविष्यात अश्या उच्च कंपनांची सापेक्ष तीव्रता आपणाला एकमेकांत सामावून जाणाऱ्या कृष्णविवरांबद्दल अधिक उपयुक्त माहिती देऊ शकते.

साधारण सापेक्षतावादाच्या अनेक चाचण्या देखील GW190412 च्या माध्यमातून यशस्वीपणे करण्यात आल्या. आम्हाला ह्या सिद्धांतात आणि गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या डेटा मध्ये तीळमात्रही विसंगती आढळली नाही, ज्यामुळे आइनस्टाइन च्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांताला अधिकच दुजोरा मिळाला.

भारतीय योगदान

अनेक भारतीय वैज्ञानिक संस्थांतील वैज्ञानिकांनी ह्या विश्लेषणात सक्रिय सहभाग घेतला आणि GW190412 च्या शोधात अतिशय मोलाचे योगदान केले.

प्रकर्षाने उल्लेख करावा,

- आय. आय. टी. गांधीनगर आणि चेन्नई मॅथेमॅटिकल इन्स्टिट्यूट च्या वैज्ञानिकांचा. त्यांनी LIGO – VIRGO च्या वैज्ञानिकांना डेटा चे विश्लेषण करण्यात मोलाचे सहकार्य केले. ह्यातूनच तुलनेने कमी प्रखर, कमकुवत अश्या स्पंदनांतील घटकांची ओळख पटली ज्याचा अंदाज आइनस्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतात नमूद होता.

गुरुत्वाकर्षण लहरींचे चतुष्पादी उत्सर्जन एखाद्या सतारीची अथवा गिटारची एक तार ताणल्यावर निर्माण होणाऱ्या सूरामार्फत समजले जाऊ शकते. वाद्यांप्रमाणेच गुरुत्वाकर्षण लहरी देखील उच्च ध्वन्यर्थ (साधारण भाषेत ध्वनी कंपनी) उत्सर्जित करत असल्याची संभावना आहे. अशी उच्च तरंगतेची कंपनी समान वस्तुमानांच्या कृष्णविवरांतून बाहेर पडणे खूप कठीण असते. GW190412 च्या असमान वस्तुमानांच्या कृष्णविवरांमुळे अश्या प्रकारची कमकुवत कंपनी आपणाला अधिक प्रभावीपणे "ऐकता" आली.

वेळ आणि स्पंदने (time and frequency) यांनी बनलेल्या spectrogram (स्पेक्टोग्राम) मधून स्पंदनांदांतील वैयक्तिक घटक वेगळे करण्याची नवीन पद्धत ह्या भारतीय चमूने शोधून काढली (पटल क्रमांक २ पहा). ह्यानंतर उच्च प्रतीच्या सांख्यिकीय विश्लेषणाच्या मदतीने कमकुवत अश्या उच्च बहुध्रुवीय घटकांचा शोध घेण्यात आला . ह्या अभ्यासातून मिळणाऱ्या घटकांची चुकीची असण्याची शक्यता ०.०६% पेक्षाही कमी आल्याचे आढळले ज्यामुळे ह्या निरीक्षणाच्या प्रभावाची व परिणामांची पुष्टी होते.

भविष्यात अश्या उच्च कंपनांची सापेक्ष तीव्रता आपणाला एकमेकांत सामावून जाणाऱ्या कृष्णविवरांबद्दल अधिक उपयुक्त माहिती देऊ शकते.

- इंटरनॅशन सेन्टर फॉर थिओरिटिकल सायन्सेस (टी. आय. एफ. आर.) बंगलोर च्या शास्त्रज्ञांनी दुसऱ्या महत्वपूर्ण विश्लेषणात LIGO – VIRGO च्या शास्त्रज्ञांना सहकार्य केले. ह्या विश्लेषणात निरीक्षक उपकरणांतून सापडलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींची तुलना सामान्य सापेक्षतावादातील अंदाजांशी करण्यात आली. हे विश्लेषण लहरींमधील लघु व उच्च स्पंदनांतील आपापसातील अनुकूलतेची पडताळणी करते.
- उच्च स्पंदनांचा प्रभाव असणारे गुरुत्वाकर्षण लहरींचे नमुने विकसित करण्यात मागील तीस वर्षात इंटरनॅशन सेन्टर फॉर थिओरिटिकल सायन्सेस (टी. आय. एफ. आर.) बंगलोर, चेन्नई मॅथेमॅटिकल इन्स्टिट्यूट, आय. आय. टी. मद्रास आणि रमण रीसर्च इन्स्टिट्यूट, बंगलोर येथील अनेक शास्त्रज्ञांच्या चमूंचा सिंहाचा वाट आहे. अश्या सैद्धांतिक नमुन्यांचा ह्या शोधामागे महत्वाचा हातभार आहे. LIGO च्या ह्या गुरुत्वाकर्षण लहरींवर होणारे बहुविध भौतिक परिणाम निरनिराळ्या पैलूंनी अभ्यासण्यात आय. आय. टी. गांधीनगर, चेन्नई मॅथेमॅटिकल इन्स्टिट्यूट, इंटरनॅशन सेन्टर फॉर थिओरिटिकल सायन्सेस (टी. आय. एफ. आर.) बंगलोर, आयुका पुणे, आय. आय. टी. मुंबई आणि आय. आय. टी. मद्रास येथील वैज्ञानिक चमूंच्या प्रमुख अन्वेषकांनी महत्वाची भूमिका बजावली आहे.

एक संपन्न वारसा

भारतीय वैज्ञानिकांनी गुरुत्वाकर्षण लहरींशी संबंधित अभ्यासासाठी अग्रणी योगदान दिले आहे . विशेषतः त्यांनी निरीक्षक उपकरणांच्या डेटा मधील अनावश्यक आवाजातून (अडथळ्यांतून) एकमेकांभोवती फिरणाऱ्या अतिघन 'कॉम्पॅक्ट' जोड्यांना शोधून काढण्यासाठी लागणाऱ्या मूलभूत गणितीय समीकरणे शोधण्यात, आइनस्टाइनच्या सापेक्षतावादातील समीकरणे सोडवून सैद्धांतिक लहरींचे नमुने गोळा करण्यात, यांत्रिकी तसेच पर्यावरणीय डेटा मधून छुपी खगोलशास्त्रीय माहिती गोळा करण्यात, गुरुत्वाकर्षण लहरी व त्या संबंधित गामा किरणांच्या निरीक्षणांचा अर्थ लावण्यात, आइनस्टाइन च्या सिद्धांतांची पडताळणी करण्यात आणि इतर अनेक पैलूंचा अभ्यास करण्यात मोलाची मदत केली आहे.

LIGO च्या भारतीय चमूमध्ये चेन्नई मॅथेमॅटिकल इन्स्टिट्यूट, डी. सी. एस. ई. एम. मुंबई, इंटरनॅशन सेन्टर फॉर थिओरिटिकल सायन्सेस (टी. आय. एफ. आर.) बंगलोर, आय. आय. एस. ई. आर. कोलकाता, आय. आय. एस. ई. आर. पुणे, आय. आय. टी. मुंबई, आय. आय. टी. गांधीनगर, आय. आय. टी. हैदराबाद, आय. आय. टी. मद्रास, आय. पी. आर. गांधीनगर, आयुका पुणे, आर. आर. सी. ए. टी. इंदोर आणि टी. आय. एफ. आर. मुंबई च्या वैज्ञानिकांचा समावेश होतो .

एन. एस. एफ. द्वारा अनुदानित LIGO चा उपक्रम कॅलटेक आणि एम. आय. टी. द्वारे संचालित केले जातो, जेथे LIGO चा जन्म झाला आणि त्याच्या प्रगत आवृत्त्या रचल्या गेल्या. प्रगत LIGO ला अनुदान एन. एस. एफ. तसेच जर्मनी (मॅक्स प्लॅन्क सोसायटी), यु. के. (सायन्स अँड टेकनॉलॉजी फॅसिलिटीस कौन्सिल) आणि ऑस्ट्रेलिया (ऑस्ट्रेलिया रिसर्च कौन्सिल) यांच्या संयुक्त आणि मूलभूत विद्यमाने मिळाले. जगभरातून किमान १२०० हुन अधिक शास्त्रज्ञ आणि अंदाजे १०० संस्था LIGO च्या वैज्ञानिक सहकारी चमूचा भाग आहेत, ज्यात जी. ई. ओ. सहकारी आणि ऑस्ट्रेलियन सहकारी OzGrav चा देखील समावेश होतो. अतिरिक्त भागीदार <http://ligo.org/partners.php> ह्या संकेतस्थळावर आढळतील. VIRGO सहकारी किमान २८० शास्त्रज्ञ अभियांत्रिकी आणि २० विभिन्न वैज्ञानिक चमूंचे मिश्रण आहे , ज्यात फ्रान्स मधील सी. एन. आर. एस. मधील सहा चमू, आय. एन. एफ. एन. इटली मधील आठ चमू, नेदर्लंड्स निकेफ मधील दोन चमू, हंगेरी मधील एम. टी. ए. विग्रेर आर. सी. पी. चमू, पोलंड मधील PolGrav चमू, स्पेन मधील वलेन्सीया युनिव्हर्सिटी, युरोपियन ग्रॅव्हिटेशनल ओब्सेर्वेटोरी (ई. जी. ओ.), पीसा इटली येथील VIRGO निरीक्षकाची प्रयोगशाळा यांचा समावेश होतो आणि सी. एन. आर. एस., आय. एन. एफ. एन. आणि निकेफ द्वारे अनुदान मिळते.

अनुवाद -- दिशा सावंत, आय. आय. टी., मुंबई

मीडिया संपर्क

LSC–LISC Principal Investigator

Sukanta Bose (IUCAA, Pune) *E-mail: sukanta@iucaa.in, Tel. 020 2560 4500*

Bala Iyer (ICTS–TIFR) *E-mail: bala.iyer@icts.res.in, Tel. 9739373144*

LIGO–India spokesperson

Tarun Souradeep (IISER Pune and IUCAA Pune) *E-mail: tarun@iiserpune.ac.in, Tel. 9422644463*

CMI – Chennai Mathematical Institute

K.G. Arun *E-mail: kgarun@cmi.ac.in, Tel. 9500066350*

ICTS – International Centre for Theoretical Sciences (TIFR), Bengaluru

P. Ajith *E-mail: ajith@icts.res.in, Tel. 9164594474*

IISER–Kolkata – Indian Institute of Science Education and Research Kolkata

Rajesh Kumble Nayak. *E-mail: rajesh@iiserkol.ac.in, Tel. 9903507977*

IISER–Pune – Indian Institute of Science Education and Research Pune

Tarun Souradeep. *E-mail: tarun@iiserpune.ac.in, Tel. 9422644463*

IIT Bombay – Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai

Archana Pai *E-mail: archanap@iitb.ac.in, Tel. 9037573123*

Varun Bhalerao *E-mail: varunb@iitb.ac.in, Tel. 9850005899*

IIT Madras – Indian Institute of Technology Madras, Chennai

Chandra Kant Mishra *E-mail: ckm@iitm.ac.in, Tel. 8748816343*

IIT Gandhinagar – Indian Institute of Technology Gandhinagar

Anand Sengupta *E-mail: asengupta@iitgn.ac.in, Tel. 8758146696*

IUCAA – Inter–University Centre for Astronomy and Astrophysics, Pune

Sanjit Mitra *E-mail: sanjit@iucaa.in, Tel. 8275067686*

RRCAT – Raja Ramanna Centre for Advanced Technologies, Indore

TIFR – Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai

A. Gopakumar *E-mail: gopu@tifr.res.in, Tel. 9869039269*

C. S. Unnikrishnan *E-mail: unni@tifr.res.in, Tel. 9869564290*

IIT Hyderabad – Indian Institute of Technology Hyderabad

IPR – Institute for Plasma Research, Gandhinagar