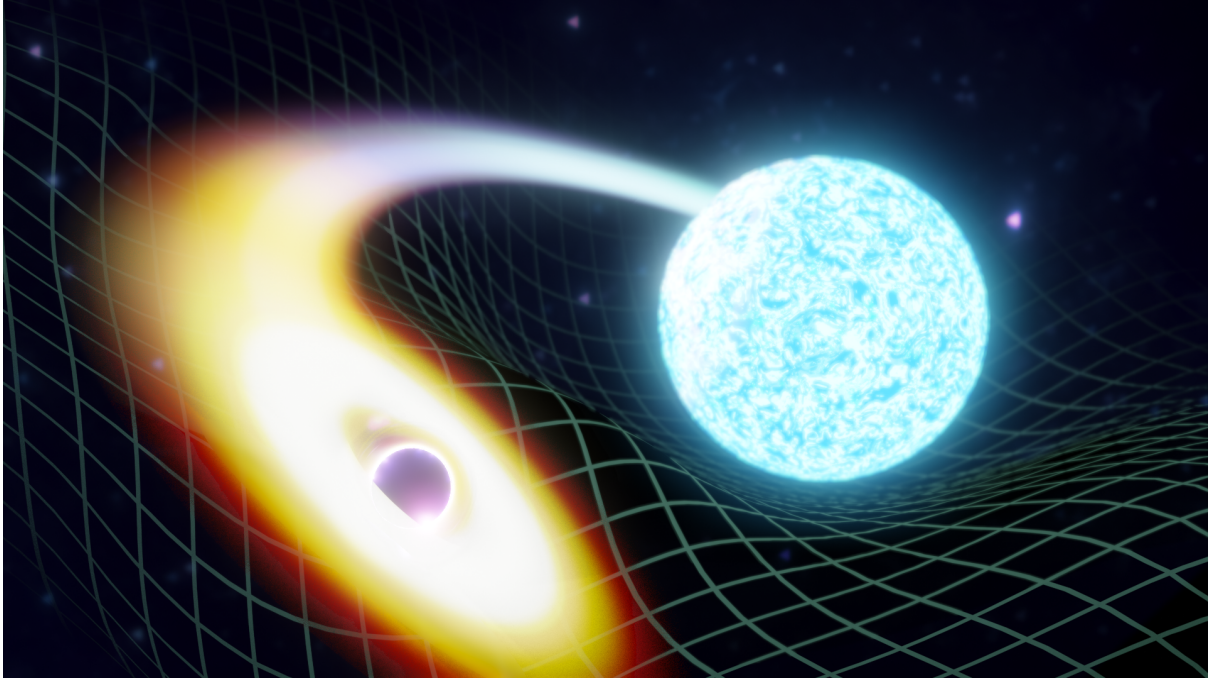


**EMBARGOED UNTIL
17:30 hrs IST ON
Tuesday, 29 June 2021**

संकरित गुरुत्विय घटकांच्या विलीनीकरणाचे LIGO तर्फे पहिले वहिले निरीक्षण गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या नवीन स्रोतांचा विलक्षण शोध: न्यूट्रॉन तारे आणि कृष्णविवरांमधील टक्कर

प्रसिद्ध शास्त्रज्ञ अल्बर्ट आइन्स्टाईनच्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार, अतिघन अवजड खगोलीय घटकांमुळे (उदाहरणार्थ [न्यूट्रॉन तारे](#) (Neutron Stars: NS) आणि [कृष्णविवरे](#) (Black Holes: BH) काळ आणि वेळ (space-time) यांच्या पटलावर बदलणाऱ्या रूपरेषा म्हणजेच गुरुत्वाकर्षण. जेव्हा अश्या अतिघन घटकांची एकमेकांत टक्कर/ विलीनीकरण होते तेव्हा space-time पटलावर तरंग निर्माण होऊन ते अवघ्या अवकाशात प्रवास करतात ज्यांना गुरुत्वाकर्षण लहरी (Gravitational Waves: GW) म्हणून संबोधले जाते. आतापर्यंत LIGO निरीक्षक उपकरणांमार्फत केवळ कृष्णविवरांच्या तसेच न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या जोड्यांच्या विलीनीकरांतून निर्माण होणाऱ्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचा शोध लागला आहे. जानेवारी २०२० मध्ये पहिल्यांदा LIGO-VIRGO निरीक्षक उपकरणांनी **एक न्यूट्रॉन तारा आणि एक कृष्णविवर यांच्या जोडीच्या विलीनीकरणातून निर्माण झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींचा विलक्षण शोध** लावला.



पटल क्रमांक १: कृष्णविवर आणि न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या विलीनीकरणाचे चित्ररूपी प्रस्तुतीकरण (चित्रकार: LIGO-India चे सदस्य सोहेब मंडाई)

कृष्णविवरांच्या अतिघनतेमुळे निर्माण झालेल्या गुरुत्विय सामर्थ्यामुळे चक्क प्रकाश देखील त्यांपासून निसटून जाऊ शकत नाही. आपला सूर्य जर ३ किलोमीटर व्यासाच्या गोळ्यात संक्रमित झाला तर त्याचे

कृष्णविवरात रूपांतर होईल. न्यूट्रॉन तारे देखील अतिघन असतात, परंतु कृष्णविवरांच्या तुलनेत कमी जर सूर्य ३० किलोमीटर व्यासाच्या गोळ्यात संक्रमित झाला तर एक न्यूट्रॉन तारा बनेल.

न्यूट्रॉन ताऱ्यांपेक्षा तुलनेने अतिघन असणारी कृष्णविवरे त्यांच्या भोवती फिरणाऱ्या न्यूट्रॉन ताऱ्यांचे संपूर्णपणे विच्छेदन करून त्यांच्या घटकांची एक चकती (accretion disk) स्वतःभोवती स्थापित करतात (पटल क्रमांक १ पहा).

विविध निरीक्षणांमध्ये तसेच सिद्धांतांमध्ये हे आढळून आले आहे कि ह्या उध्वस्त ताऱ्यांच्या अश्या चकत्यां (accretion disk) मधून ताऱ्यांतील कण तसेच प्रकाश ([विद्युत-चुंबकीय ऊर्जा/ electromagnetic radiation](#)) उत्सर्जित होत असतो. न्यूट्रॉन तारे आणि कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणांत अश्या चकत्यांच्या निर्मितीची शक्यता खूप कमी असते तरीदेखील GW200115 च्या निरीक्षणानंतर अनेक खगोलीय दुर्बिणीतून अशा संभाव्य चकतीपासून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाचा शोध घेण्यात आला. परंतु कोणत्याही प्रकारच्या विद्युत-चुंबकीय ऊर्जेचे निरीक्षण टिपण्यात आले नाही. जरीही अश्या खगोलीय घटनेत चकत्या निर्मिल्या गेल्या, तरीही इतक्या दूर वरून अश्या विद्युत-चुंबकीय उत्सर्जनाचा आढावा घेणे अत्यंत आव्हानात्मक असते.



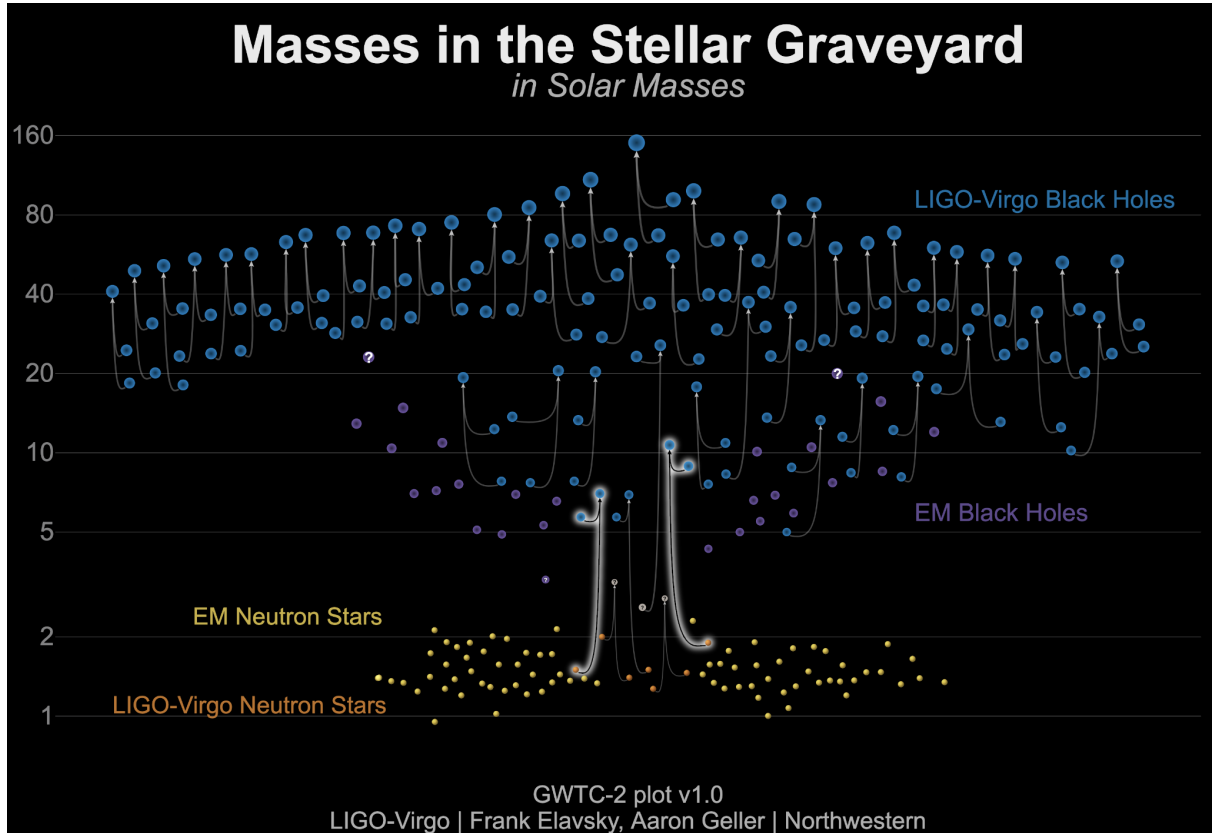
पटल क्रमांक २: कृष्णविवर आणि न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या विलीनीकरणाचे काल्पनिक चित्र (श्रेय: कार्ल कनॉक्स, OzGrav - स्विनबर्न युनिव्हर्सिटी)

पहिले विलीनीकरणाचे निरीक्षण अर्थात **GW200105** (टोपणनाव) चा शोध ५ जानेवारी २०२० रोजी LIGO-Livingston आणि VIRGO निरीक्षकांमार्फत लागला तर दुसरे निरीक्षण **GW200115** (टोपणनाव) हे १५ जानेवारी २०२० रोजी LIGO-Livingston, LIGO-Hanford आणि VIRGO निरीक्षकांमार्फत टिपण्यात आले. ह्यापूर्वी २०१९ मध्येही LIGO आणि VIRGO निरीक्षकांमार्फत एक न्यूट्रॉन तारा आणि एक कृष्णविवर अशा संभाव्य जोडी मधून उत्सर्जित गुरुत्विय लहरींचा शोध लागला होता परंतु त्या जोडीतील हलक्या घटकाचे वस्तुमान अपेक्षित कृष्णविवर वा न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या वस्तुमानाशी मेळ खात नव्हते (पटल क्रमांक ३ पहा). पण त्यातील जड घटकाचे वस्तुमान अपेक्षित कृष्णविवराच्या वस्तुमानाशी तुलनात्मक होते. ह्या खेपेला जानेवारी

२०२० मध्ये शोध लागलेल्या ह्या गुरुत्वाकर्षण लहरींबाबत म्हणायचे झाले तर शास्त्रज्ञ अगदी खात्रीपूर्वक रीतीने लहान घटकाचे वस्तुमान न्यूट्रॉन ताराच्या वस्तुमानाशी जोडू शकले.

निरीक्षण कसे करण्यात आले?

दोन अतिघन अवजड खगोलीय घटक जेव्हा एकमेकांभोवती गिरक्या घेऊ लागतात आणि अंततः एकमेकांत विलीन होतात, तेव्हा ह्या पूर्ण प्रक्रियेत त्यांच्या ऊर्जेचे गुरुत्विय लहरींच्या स्वरूपात उत्सर्जन होत राहते. सध्या LVC (LIGO-VIRGO consortium समूह) मार्फत निरीक्षक उपराणांमधील प्रकाशाच्या मार्गातील होणाऱ्या बदलाशी प्रमाणबद्ध असणाऱ्या गुरुत्विय लहरींची रुंदी $1/10^{31}$ आहे म्हणजे अणूच्या आकाराहूनही लहान!



पटल क्रमांक ३: आतापर्यंत शोध लागलेल्या अतिघन स्रोतांच्या (न्यूट्रॉन तारे आणि कृष्णविवरे) वस्तुमानांचा आलेख. विद्युत-चुंबकीय निरीक्षणांना पिवळ्या/ जांभळ्या रंगात दर्शविले आहे आणि गुरुत्विय निरीक्षणांना नारिंगी/ निळ्या रंगात दर्शविले आहे नव्याने शोध लागलेल्या GW200105 आणि GW200115 च्या NSBH विलीनीकरणाला ठळकपणे पांढऱ्या रंगात दर्शविले आहे.

गुरुत्वाकर्षण लहरी ह्या निरीक्षणांतील data मध्ये अगदी सूक्ष्मपणे गुंफल्या गेलेल्या असतात. अशावेळी लहरींचा शोध "matched filtering" पद्धतीने केला जातो, ज्यात निरीक्षणांची तुलना आईन्स्टाईन च्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या अंदाजांशी केली जाते. ह्या तुलनेचे प्रमाण जेव्हा एका विशिष्ट मापदंडाच्या (signal-to-noise > 7) पार होते तेव्हा गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या शोधाची पुष्टी केली जाते. GW200105 साठी हे प्रमाण ११ होते तर GW200115 साठी १३.५ होते. अश्या दोन्ही लहरींचे निरीक्षण एकाच वेळी कित्येक हजारो किलोमीटर दूर असणाऱ्या निरीक्षक उपकरणांनी टिपल्यामुळे ह्या स्रोतांच्या खगोलीय उत्पत्तीबद्दल शास्त्रज्ञांची अतिरिक्त खात्री पटते. पटल क्रमांक ३ मध्ये २०१५ मध्ये टिपण्यात आलेल्या पहिल्या वहिल्या

गुरुत्वाकर्षण लहरींपासून आतापर्यंतच्या सर्व सुनिश्चित शोधांची नोंद केली आहे आणि तसेच नवीन दोन्ही गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षणांना ठळकपणे अधोरेखित केले आहे.

या न्यूट्रॉन तारा- कृष्णविवर जोडीच्या स्रोतांबाबत आपण किती खात्रीशीर आहोत?

खगोलशास्त्रज्ञ विशिष्ट [मापदंडांच्या अंदाजांतून](#) (parameter estimation) निरीक्षक उपकरणांतून आलेल्या डेटा चा अभ्यास करतात आणि अवजड घटकांचे वस्तुमान, परिभ्रमण, त्यांचे आपल्यापासूनचे अंतर, अवकाशातील निश्चित स्थान यांची मोजणी करतात ह्या दोन्ही गुरुत्वाकर्षण लहरींची उत्पत्ती आपल्यापासून तब्बल १ अब्ज [प्रकाशवर्षे](#) दूर झाली!

GW200105 स्रोतांच्या जोडीतील अवजड घटकाचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ८.९ पट आहे (सूर्याचे वस्तुमान 2×10^{30} किलोग्रॅम आहे!) तर हलक्या घटकाचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या १.९ पट आहे. GW200115 च्या स्रोतांच्या बाबतीत ते सूर्याच्या वस्तुमानाच्या अनुक्रमे ५.७ आणि १.५ पट आहे. ह्यांतील अवजड कृष्णविवराचे वस्तुमान LVC च्या शोधांमध्ये सापडलेल्या गुरुत्विय घटकांच्या वस्तुमानां-इतके जास्त नाही परंतु आतापर्यंत पारंपरिक दुर्बिणींतून अप्रत्यक्षपणे सापडलेल्या कृष्णविवरांच्या वस्तुमानांशी मिळतेजुळते आहे (पटल क्रमांक ३ पहा). याशिवाय हलक्या घटकांच्या वस्तुमान प्रचलित सिद्धांताच्या तसेच विद्युत- चुंबकीय निरीक्षणांच्या अखेरीस सापडलेल्या न्यूट्रॉन ताऱ्यांच्या (सूर्याच्या वस्तुमानाच्या १- ३ पट) वस्तुमानांशी मिळतेजुळते आहे. ह्या घटकांतील कृष्णविवरांचे वस्तुमान तारका निर्मिती आणि उत्पत्तीच्या सिद्धांतांशी संलग्न तर आहेच पण तत्वतः ह्या दोन्ही घटनांमध्ये सापडलेले गुरुत्विय घटक अनोख्या प्रकारचे घटक, जसे आदिम काळातील कृष्णविवरे असू शकतात, ज्यांच्या उत्पत्तीचे संकेत विश्वाच्या उत्पत्तीच्या काल-बिंदूत शोधले जाऊ शकतात.

आपणास कोणते नवीन विज्ञान समजले?

अश्या निरीक्षणांतून आपणास खगोलीय अतिघन जोड्यांच्या निर्मितीचे आणि विपुलतेचे आकलन होण्यास मदत होते. विश्वात न्यूट्रॉन तारे सर्वात घन घटकांमध्ये गणले जातात, त्यामुळे अश्या शोधांचा पदार्थाचे अति घनतेच्या वातावरणातील वर्तन समजण्यास उपयोग होतो. नियमितपणे ऊर्जा उत्सर्जित करणारे न्यूट्रॉन तारे (अर्थात pulsar तारे) विश्वातील अत्यंत अचूक घड्याळाचेही काम करतात. अश्या प्रकारे कृष्णविवरांच्या भोवती फिरणारे pulsar तारे वैज्ञानिकांना अतिशक्तिशाली गुरुत्विय शक्तीच्या सान्निध्यात आढळणाऱ्या खगोलीय प्रक्रियांचा अभ्यास करण्यास मदत करतात. याशिवाय विद्युत-चुंबकीय निरीक्षण आढळल्यास सतत होत असणाऱ्या विश्वाच्या प्रवेगाचा अभ्यास करण्यासही मदत होते. ज्ञात विश्वातील न्यूट्रॉन तारे आणि

कृष्णविवरांच्या अश्या विलीनीकरणांच्या संभाव्यतेची (ज्याला "merger rate" म्हणून संबोधले जाते) मोजणी करताना शास्त्रज्ञांना अश्या घटकांच्या उत्पत्तीचे आणि निर्मितीचे आकलन होण्यासही मदत होते. LIGO निरीक्षणांनी शोधलेल्या ह्या दोन गुरुत्विय घटनांमुळे आपणास अश्या न्यूट्रॉन तारे आणि कृष्णविवरे यांच्या विलीनीकरणांची मर्यादा पृथ्वीभोवतीच्या १ giga parsec अंतराच्या क्षेत्रात २ ते २५० प्रतिवर्ष म्हणून निश्चित करता आली.

भारतीय योगदान

LIGO-इंडियाच्या वैज्ञानिक चमूने ह्या शोधात मोलाचे सहकार्य केले. आहे विशेषतः International Centre for Theoretical Science (ICTS) बंगलोर च्या डॉ शाश्वत कपाडिया यांनी न्यूट्रॉन तारे-कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणाच्या संभाव्यतेची मोजणी करण्यात अमूल्य सहकार्य केले.

शब्दकोश

कृष्णविवरः एक अत्यंत घन वस्तू ज्याच्या गुरुत्वाकर्षण शक्तीमुळे प्रकाश सुद्धा निसटून जाऊ शकत नाही.

न्यूट्रॉन तारा: अतिभव्य ताऱ्याच्या जीवना अखेरीस स्फोट होऊन उरलेला अतिघन अवशेष

विद्युत-चुंबकीय उत्सर्जन: दृश्यमान, रेडिओ, माइक्रोवेव्ह, क्ष-किरणे ह्या सर्व लहरी विद्युत- चुंबकीय उत्सर्जनाच्या विभिन्न प्रकारांत मोडतात ज्यांमध्ये आपापसात तरंगलांबीचा फरक असतो.

मापदंडांच्या अंदाजांतून: सांख्यिकी पद्धती वापरून गुरुत्वाकर्षण सिद्धान्तांतून अनुमानित केलेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या खगोलीय परिमाणांचे मापन

प्रकाशवर्ष: एका वर्षात प्रकाशाने पार केलेले खगोलीय अंतर (सरासरी १०००,०००,०००,००० किलोमीटर)

अतिरिक्त वाचन:

<https://www.ligo.org/science/Publication-NSBHDDiscovery/index.php> (active after public release)

मीडिया संपर्क

LSC-LISC Principal Investigator

Sukanta Bose (IUCAA, Pune)

E-mail: sukanta@iucaa.in, Tel. 020 2560 4500

LSC-LISC Co-Principal Investigator

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, Chennai

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, 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

IIT Gandhinagar - Indian Institute of Technology Gandhinagar

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

IIT Hyderabad - Indian Institute of Technology Hyderabad

Surendra Nadh Somala E-mail: surendra@ce.iith.ac.in, Tel. 9398213383

IPR - Institute for Plasma Research, Gandhinagar

Arnab Dasgupta Email: arnabdasg@ipr.res.in; Tel: 8306098020

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

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

IIT Madras - Indian Institute of Technology Madras, Chennai

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

RRCAT - Raja Ramanna Centre for Advanced Technologies, Indore

Dr. Yogesh Verma E-mail: yogesh@rrcat.gov.in, Tel: 0731 2442627

SINP - Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata

Arunava Mukherjee Email: arunava.mukherjee@saha.ac.in, Tel. 8317813612

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