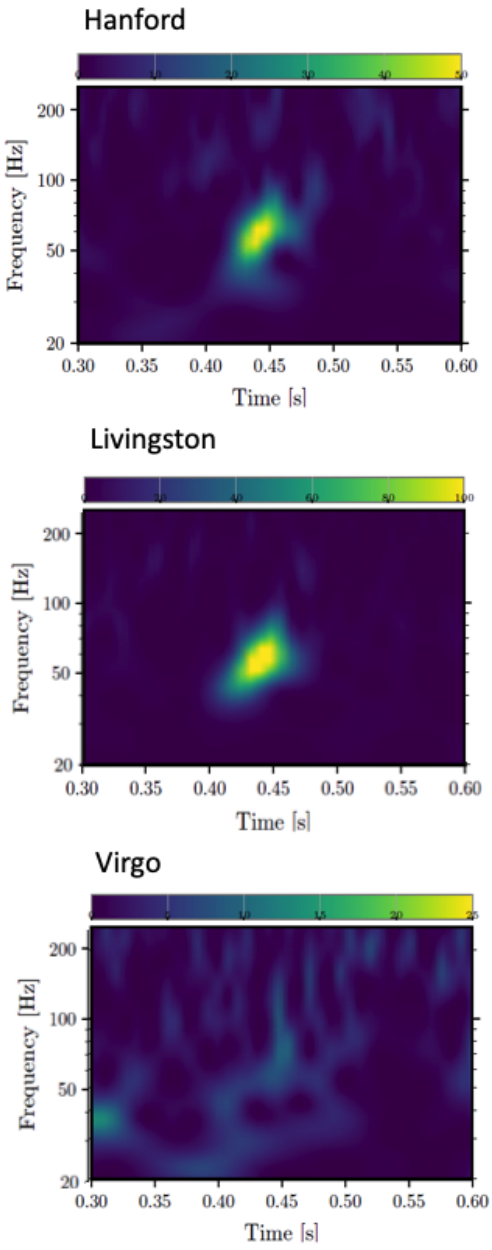
EMBARGOED UNTIL
08:00 hrs US EDT/ 17:30 hrs IST ON
WEDNESDAY, 2nd SEPTEMBER 2020

GW190521 : आतापर्यंत सापडलेल्या सर्वाधिक वजनदार कृष्णविवरांचे विलीनीकरण आणि त्यानंतर जन्माला आलेले अभूतपूर्व मध्यवर्ती वस्तुमानाचे कृष्णविवर

GW190521 च्या विक्रमी शोधामुळे कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीच्या आपल्या ज्ञानाला आव्हान मिळाले आणि तसेच गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतांचा अभ्यास करण्यासाठी नवीन मार्ग उपलब्ध झाला.



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 हे मापन संबोधित करण्यात आले.

ह्याबद्दलच्या शोधनिबंधांचे प्रकाशन अनुक्रमे Physical Review Letters आणि Astrophysical Journal Letters या नियतकालिकांमध्ये करण्यात आले आहे.

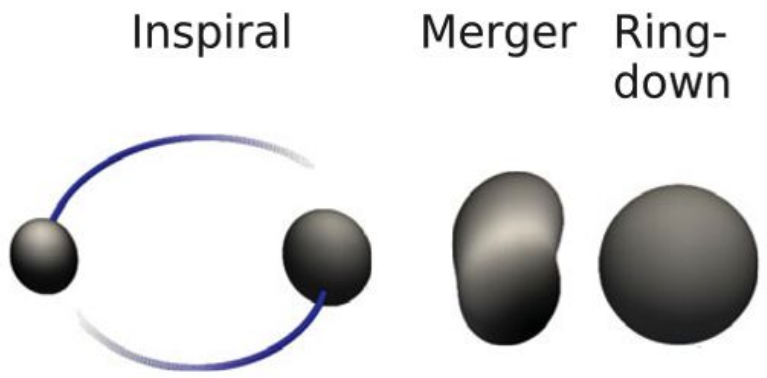
पटल क्रमांक १: LIGO Hanford (सर्वात वरचे पटल), LIGO Livingston (मधले पटल) आणि Virgo (सर्वात खालचे पटल) या ३ गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरीक्षक उपकरणांत नोंदवण्यात आलेला GW190521 चा 'spectogram'. आडवा अक्ष वेळेची नोंद दाखवत आहे व उभा अक्ष कंपनांच्या (frequency) मापनाची नोंद दाखवत आहे. वेळ ही २१ मे २०१९ रोजी ०८:३२ IST वेळेशी संलग्न करून दर्शवली आहे. विविध रंग कंपनांच्या विविध क्षमतांचे प्रमाण देत आहेत. सर्वप्रथम हे मापन अंदाजे ५० Hz पासून निदर्शनास येते आणि विसाव्या सेकंदापर्यंत ६० Hz पर्यंत पोहोचते, जेथे दोन कृष्णविवरांचे विलीनीकरण होते. सौजन्य: GW190521 च्या शोधनिबंधातील पटल क्रमांक १.

GW190521 चे निरीक्षण म्हणजे काय?

GW190521 चे निरीक्षण गुरुत्वाकर्षण लहरींचे उत्सर्जन हे दोन कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणातून निर्माण झाले.

ही कृष्णविवरे सूर्याच्या वस्तुमानाच्या अनुक्रमे ८५ पट आणि ६६ पट असून विलीनीकरणानंतर निर्माण झालेल्या कृष्णविवराचे वस्तुमानाचे सूर्याच्या वस्तुमानाच्या सुमारे १४५ पट आहे. ह्या लहरींनी प्रसरण पावणाऱ्या अवकाशातून सुमारे १७.२ अब्ज प्रकाशवर्षे प्रवास केला तेव्हा आपल्याला हे निरीक्षण करता आले. आतापर्यंत निरीक्षण झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरींनीपैकी ह्या लहरी आपल्यापासून सर्वात जास्त दुरून उद्भवल्याचे लक्षात आले आहे.

अवजड वस्तुमानाच्या अवकाशातील जोड्यांत (पटल क्रमांक २ पहा), दोन कृष्णविवरे एकमेकांभोवती फिरत गुरुत्वकर्षणापायी एकमेकांत विलीन होत मोठ्याने आदळतात आणि भव्य स्फोटातून गुरुत्वाकर्षण लहरी उत्सर्जित करतात. शेवटी ह्या घटनेचा अंत एका कृष्णविवरात होतो. ह्या निरीक्षणात तीन भाग असतात: अनुक्रमे inspiral (एकमेकांभोवती फिरणे), merger (एकमेकांत विलीन होणे), ringdown (कंपनांच्या तीव्रतेत घट होत जाणे). अवजड अश्या गुरुत्वीय घटकांच्या जोड्यांपासून उत्सर्जित होणाऱ्या लहरी आपल्या निरीक्षक उपकरणांच्या किमान कंपनांच्या पट्ट्यातून अगदी जलद पुढे सरकत एकमेकांत विलीन होतात ज्यामुळे अशी निरीक्षणे अत्यंत कमी कालावधीची असतात. GW190521 च्या बाबतीत हे निरीक्षण निव्वळ ०.१ सेकंदाचे होते.

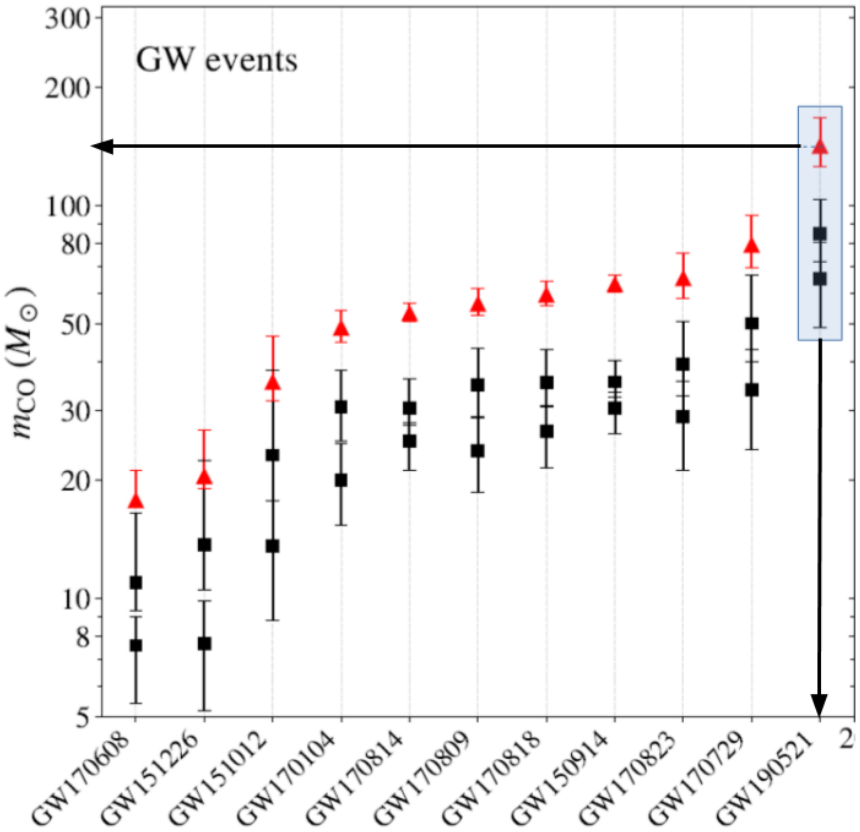


पटल क्रमांक २: गुरुत्वाकर्षण लहरींच्या निरिक्षणाचे ३ भाग येथे काल्पनिक रेखाटनातून चित्रित केले आहेत.

GW190521 इतके विलक्षण का?

- विलीनीकरणाअंती निर्माण झालेले कृष्णविवर हे LIGO-Virgo निरीक्षणांत आढळलेल्या कृष्णविवरांपैकी सर्वाधिक वस्तुमानाचे कृष्णविवर आहेच (पटल क्रमांक ३ पहा), पण तसेच ते पहिले LIGO-Virgo निरीक्षणांत सापडलेले माध्यमिक वस्तुमानाचे (सूर्याच्या वस्तुमानाच्या १०० ते १००,०० पट वस्तुमान असणारे) कृष्णविवर देखील आहे.

- दोन विशालकाय अश्या अवजड कृष्णविवरांच्या विलीनीकरणातून निर्माण झालेल्या ह्या गुरुत्वीय लहरी थोर शास्त्रज्ञ आइनस्टाइन यांच्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतांचा अभ्यास करण्याची एक अद्भुत संधी देखील उपलब्ध करून देतात.
- अपूर्व अश्या ह्या अवजड कृष्णविवरांच्या जोडीमुळे कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीच्या आपल्या ज्ञानाला आव्हान मिळते.



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 विलीनीकरणा-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.

मोठ्या कृष्णविवरांची निर्मिती

खगोलशास्त्रज्ञ कृष्णविवरांचे विभागीकरण त्यांच्या वस्तुमानांच्या आधारे करतात. ह्या विभाजनाच्या एका टोकाला सामान्य ताऱ्यांच्या वस्तुमानाची कृष्णविवरे("stellar mass" blackholes) अर्थात सूर्याच्या वस्तुमानाच्या १०० पटांहून कमी वस्तुमानाची कृष्णविवरे आढळतात. अश्या कृष्णविवरांच्या जोड्यांच्या एकीकरणांतून निर्माण झालेल्या गुरुत्वाकर्षण लहरी LIGO-Virgo क्षमतांच्या उपकरणांत आतापर्यंत टिपल्या गेल्या आहेत.

विशाल ताऱ्यांच्या केंद्राला गुरुत्वाकर्षण बलाच्या शक्तीने सामावून घेऊन अंततः ताऱ्याच्या झालेल्या सुपरनोवा स्फोटामुळे अश्या कृष्णविवरांची उत्पत्ती होत असण्याचे समजले जाते. कृष्णविवरांची निर्मिती कशी होते त्याबद्दलच्या आतापर्यंतच्या अभ्यासावर आधारित असे प्रमाणित केले जाते,कि सूर्याच्या वस्तुमानाच्या तब्बल ६५ ते १२० पट वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांची निर्मिती महाकाय

ताऱ्यांच्या स्फोटांतून होऊ शकत नाही. ह्या वस्तुमानाच्या अंतराला “mass gap” म्हणून संबोधले जाते.

कृष्णविवरांच्या वस्तुमानांच्या दुसऱ्या टोकाला "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!

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. GW190521 च्या शोधापार्यंत अश्या माध्यमिक कृष्णविवरांचे निरीक्षण करणे शक्य झाले नव्हते.

GW190521 ची काही ठळक वैशिष्ट्ये

- कृष्णविवरांच्या एकीकरणातून निर्माण झालेल्या कृष्णविवराचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या तब्बल १०० पटांहून अधिक आहे ज्यामुळे माध्यमिक कृष्णविवरांच्या बाबतीत पहिले वाहिले थेट निरीक्षण GW190521 मार्फत केले गेले.
- जोडीतील अधिक अवजड कृष्णविवराचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानाच्या ८५ पट असल्यामुळे हे कृष्णविवर निषिद्ध अश्या mass gap मध्ये असल्याचे लक्षात येते. यावरून असे लक्षात येते कि अवजड कृष्णविवरांच्या उत्पत्तीचा दुसरा मार्ग अवकाशात उपलब्ध असावा: कदाचित अनेक कृष्णविवरांची दाट वस्ती असलेली गोलाकार तारकापुंजके (globular clusters).

गुरुत्वाकर्षणाबद्दलच्या आपल्या ज्ञानाची परीक्षा

आतापर्यंत 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 उध्दभवणारी 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 आणि आइनस्टाइनच्या सामान्य सापेक्षतावादाशी हे निरीक्षण सुसंगत असल्याचे सिद्धही झाले.

LIGO-India साठी महत्वाचा शोध

अश्या प्रकारच्या अवजड खगोलीय जोड्यांच्या अभ्यासात LIGO-India महत्वाची भूमिका बजावणार आहे. ह्या निरीक्षक उपकरणाच्या महत्वपूर्ण भौगोलिक स्थानामुळे अवजड अश्या जोड्यांच्या

विलीनीकरणांचे निश्चित स्थान हुडकून काढण्यासाठी अमूल्य मदत होणार आहे. तसेच निरीक्षक उपकरणांमध्ये अजून एका उपकरणाची भर पडल्यामुळे आइनस्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतांची चाचपणी अधिक अचूकपणे आणि खोलात करता येईल.

शोधतील भारतीय योगदान

आय. आय. टी. मुंबई मधील गुरुत्वाकर्षण लहरींवर संशोधन करणाऱ्या चमूने LIGO-Virgo च्या वैज्ञानिक सहयोगातून अगदी पहिल्या निरीक्षण फेरीपासून माध्यमिक वस्तुमानाच्या कृष्णविवरांचा LIGO-Virgo निरीक्षित डेटा मधून शोध घेण्यात पुढाकार घेतला होता. GW190521 च्या शोधकार्यात हा चमू अत्यंत हिरीरीने सहभागी होता. अश्या शोधांचे खगोलीय गुणधर्म तपासून पाहताना शास्त्रज्ञ ह्याही गोष्टीचा आढावा घेतात कि असे निरीक्षण उपकरणांत उद्भवणाऱ्या अनावश्यक आवाजांमुळे तर निर्माण झाले नसावे. ह्या कार्यातही हा चमू विशेष कार्यरत होता. तसेच अश्या माध्यमिक कृष्णविवरांच्या विविध परिमाणांवर आधारित अंतराच्या मापनाच्या अंदाजाचा देखील त्यांनी अभ्यास केला. आय. आय. टी. गांधीनगर मधील शास्त्रज्ञांचा चमू LIGO-Virgo च्या शास्त्रज्ञांसोबत तिसऱ्या निरीक्षण फेरीसाठी वापरण्यात आलेल्या गुरुत्वीय लहरींच्या नमून्यांचा संचय करण्यात विशेष पद्धतीने कार्यरत होता.

एक संपन्न वारसा

भारतीय वैज्ञानिकांनी गुरुत्वाकर्षण लहरींशी संबंधित अभ्यासासाठी अग्रणी योगदान दिले आहे . विशेषतः त्यांनी निरीक्षक उपराणांच्या 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 इन्स्टिटयूट, डी. सी. एस. ई. एम. मुंबई, इंटरनॅशन सेन्टर फॉर थिओरिटिकेल 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, एस. आय. एन. पी. कोलकाता आणि टी. आय. एफ. आर. मुंबई च्या वैज्ञानिकांचा समावेश होतो .

ADDITIONAL GRAPHICS

1. Masses in the stellar graveyard (in solar masses)
   Click here for full resolution image

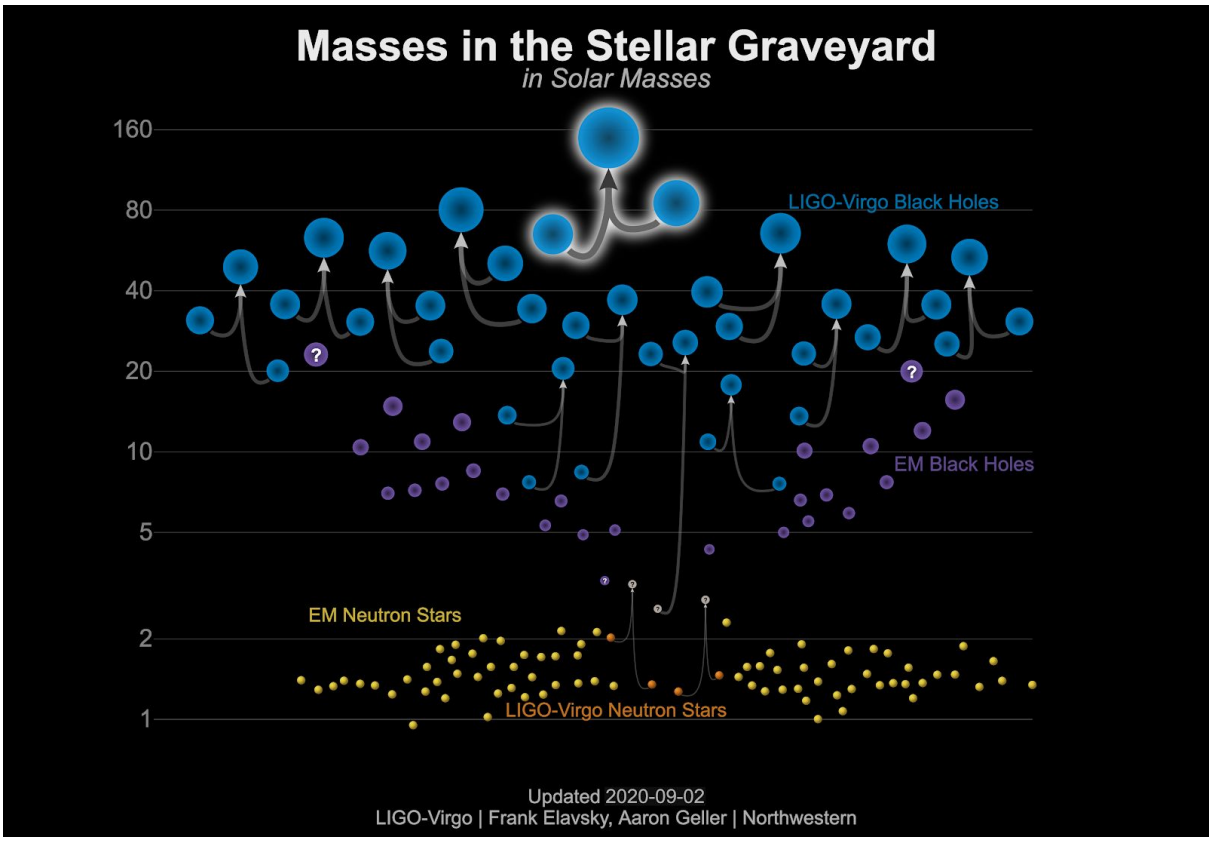
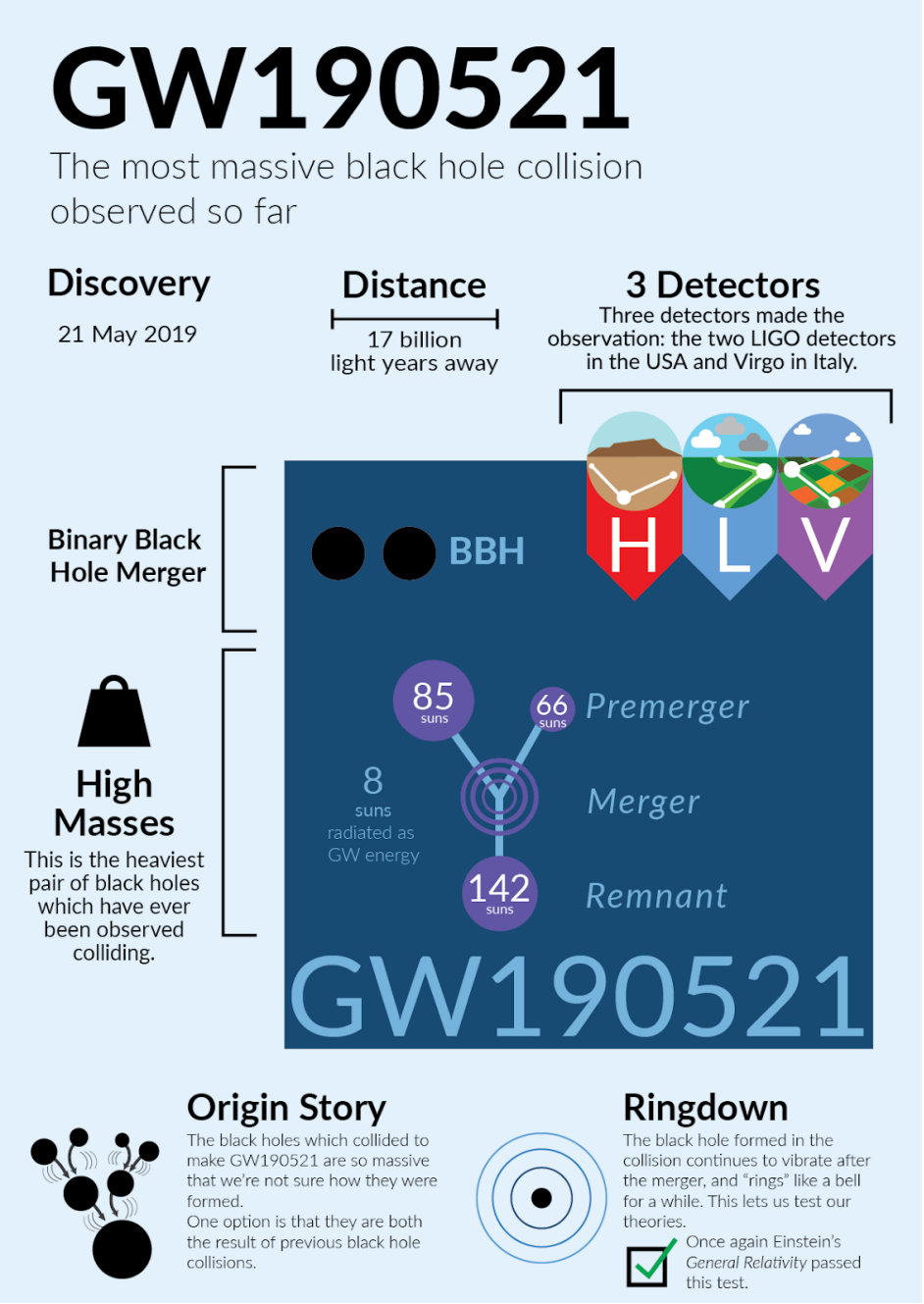


Image caption: This graphic shows the masses of black holes detected through electromagnetic observations (purple), black holes measured by gravitational-wave observations (blue), neutron stars measured with electromagnetic observations (yellow), and neutron stars detected through gravitational waves (orange). GW190521 is highlighted in the middle of the graphic as the merger of two black holes that produced a remnant that is the most massive black hole observed yet in gravitational waves.
[Image credit: LIGO-Virgo/Northwestern U./Frank Elavsky & Aaron Geller]

2. GW190521 Infographic
   Click here for full resolution image



[Credit LVC/Daniel Williams]

MEDIA CONTACTS

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

DCSEM - Directorate of Construction, Services and Estate Management, Mumbai

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

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

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

RRCAT - Raja Ramanna Centre for Advanced Technologies, Indore
Dr. Yogesh Verma E-mail: yogesh@rrcat.gov.in, Tel: 0731 2442627