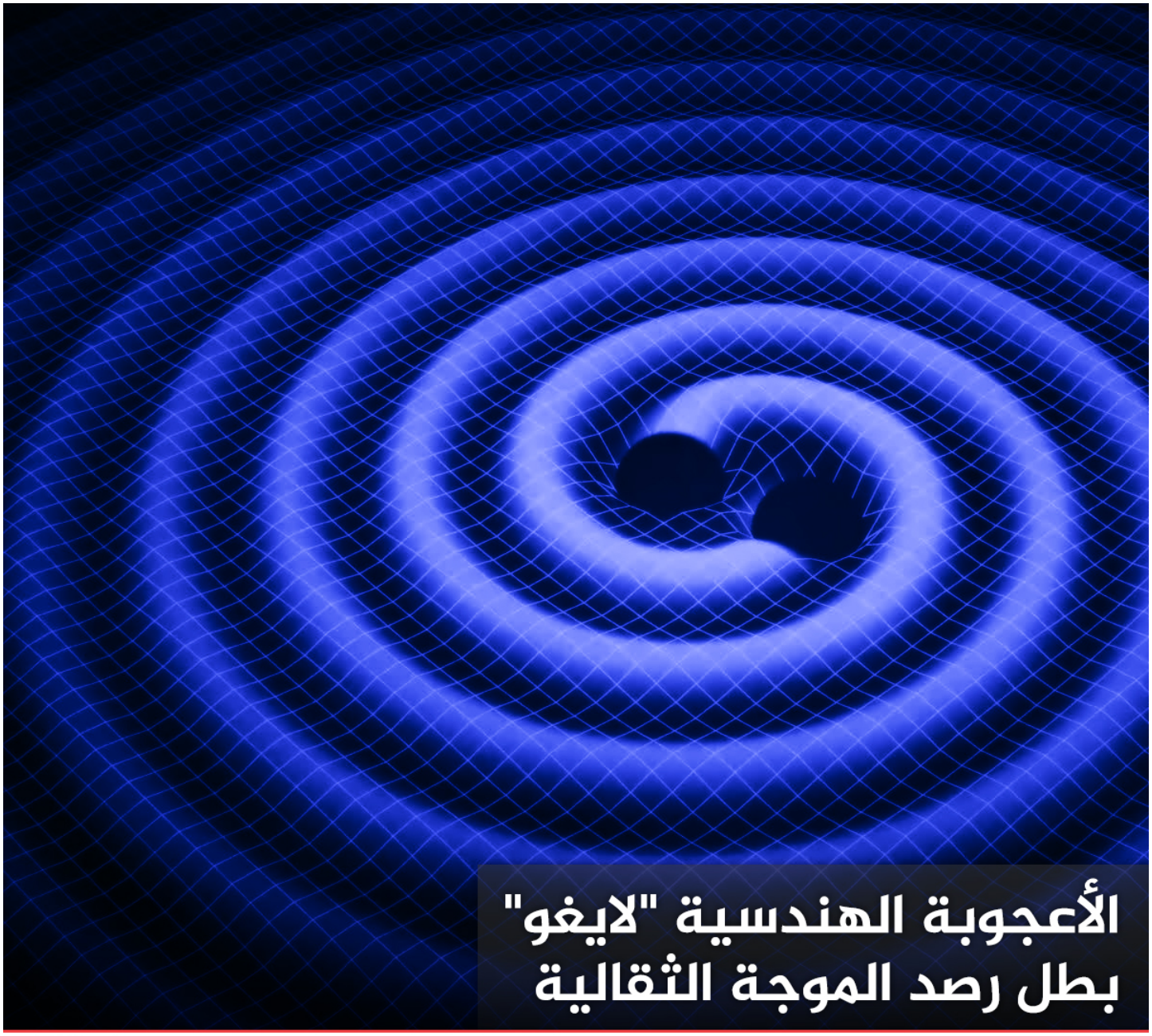
الأعجوبة الهندسية "لايغو" بطل رصد الموجة الثقالية



الموجات الثقالية لنظام ثنائي مدمج

ملكية العمل: موكوسومرز (MoocSummers) نشر في ويكيميديا العامة wikimedia

---

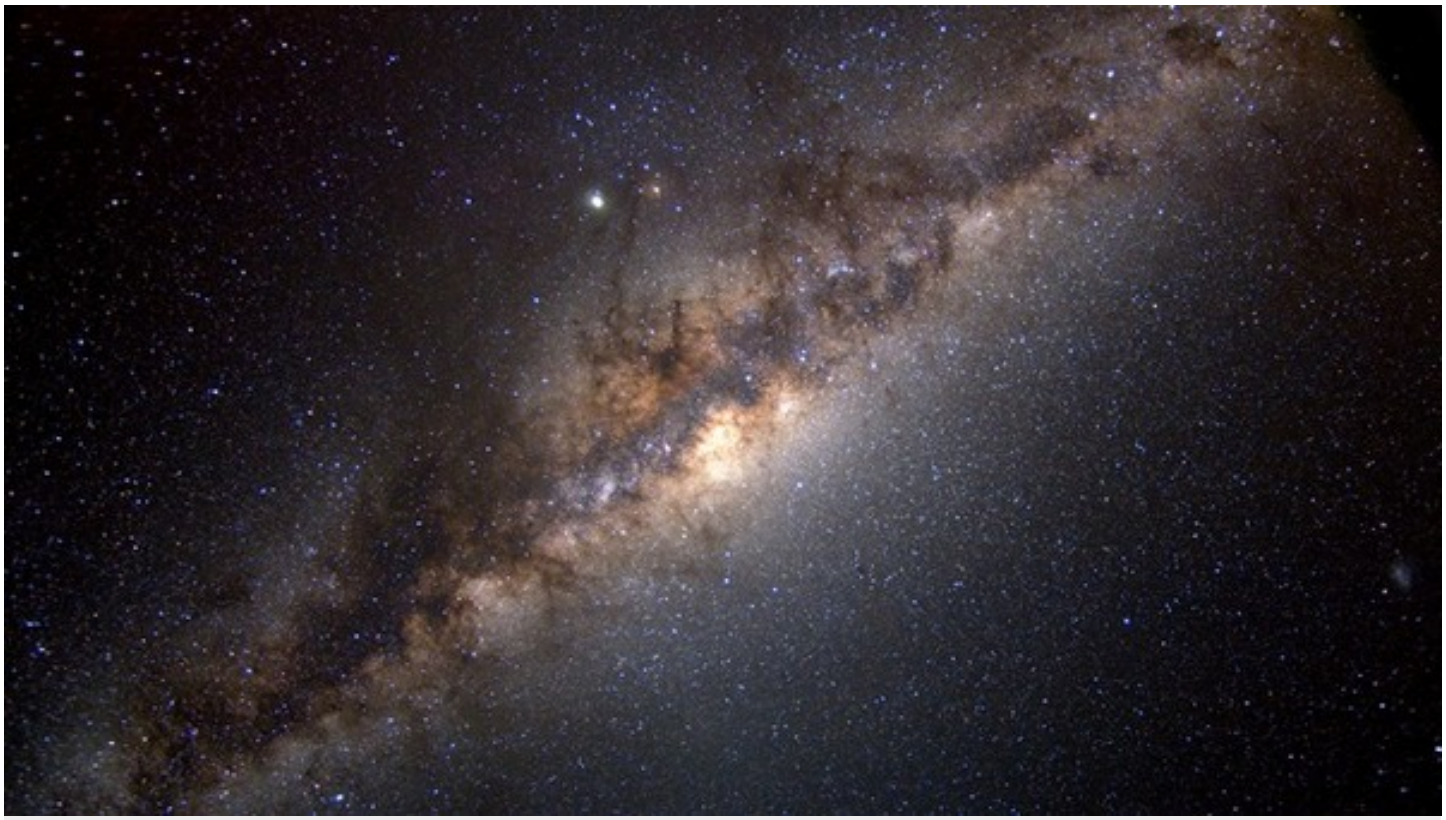
المهمة

وفقاً لتعريف ميثاق مختبر "لايغو" (**LIGO**) (مرصد الليزر لقياس التداخل في الموجات الثقالية)، فإن مهمة لايغو هي فتح مجال الفيزياء الفلكية "للموجة الثقالية "(**gravitational wave**) من خلال الرصد المباشر لهذه الموجات.

تستخدم كواشف لايغو "التداخل الليزري" (**laser interferometry**) لقياس تشوهات الزمكان بين الكتل المعلقة الثابتة والناتجة عن مرور الموجات الثقالية. ولايغو هو مرفق وطني لأبحاث الموجة الثقالية، يوفر الفرص للمجتمع العلمي حول العالم للمشاركة في تطوير الكاشف والمرصودات وتحليل البيانات.

يُموّل لايغو من قبل مؤسسة العلوم الوطنية الأمريكية **NSF** ويديره معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (كالتك **Caltech**) ومعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا **MIT**. إضافة إلى ذلك تلقت كواشف لايغو المتقدمة الدعم المالي لبنائها من أستراليا وألمانيا والمملكة المتحدة. وكواشف لايغو متاحة لاستخدام أفراد فريق شراكة لايغو العلمية **LSC**، الذي يتألف من الباحثين لدى المؤسسات الشريكة في جميع أنحاء العالم.

حقائق



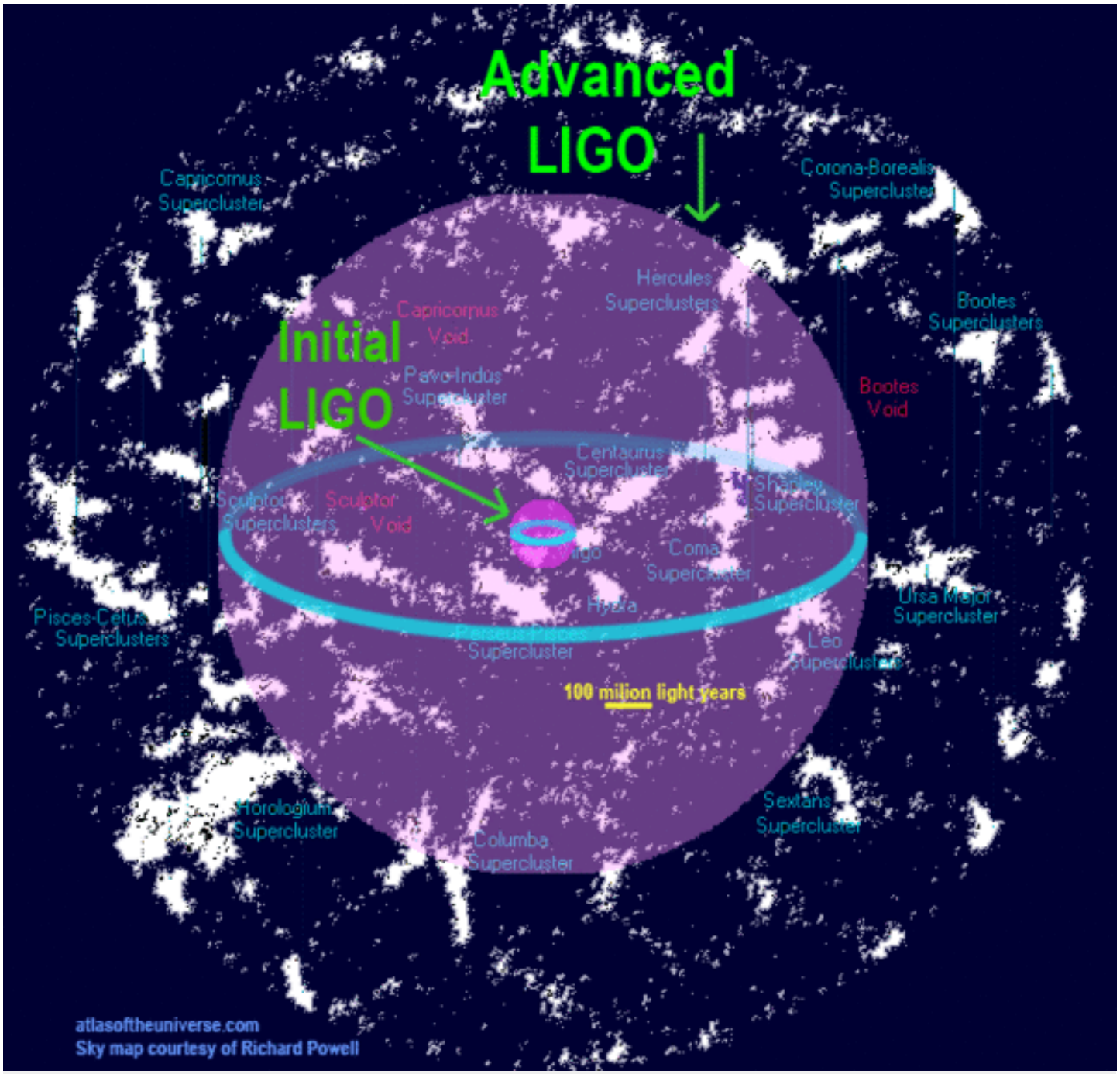
مجرة درب التبانة، المصدر: ناسا/ إس. برونير

لايغو الذي يتألف من الأجهزة البصرية الأكثر دقة في العالم، ومن نظامين يُعدان من ثاني أكبر أنظمة التفريغ في العالم، يعتبر أعجوبة من أعاجيب الهندسة وبراعة الإنسان. واصل القراءة لتتعرف على بعض الحقائق السريعة عن لايغو وماضيه ومستقبله المثير كمرفق بحثي.

تطور كاشفي لايغو

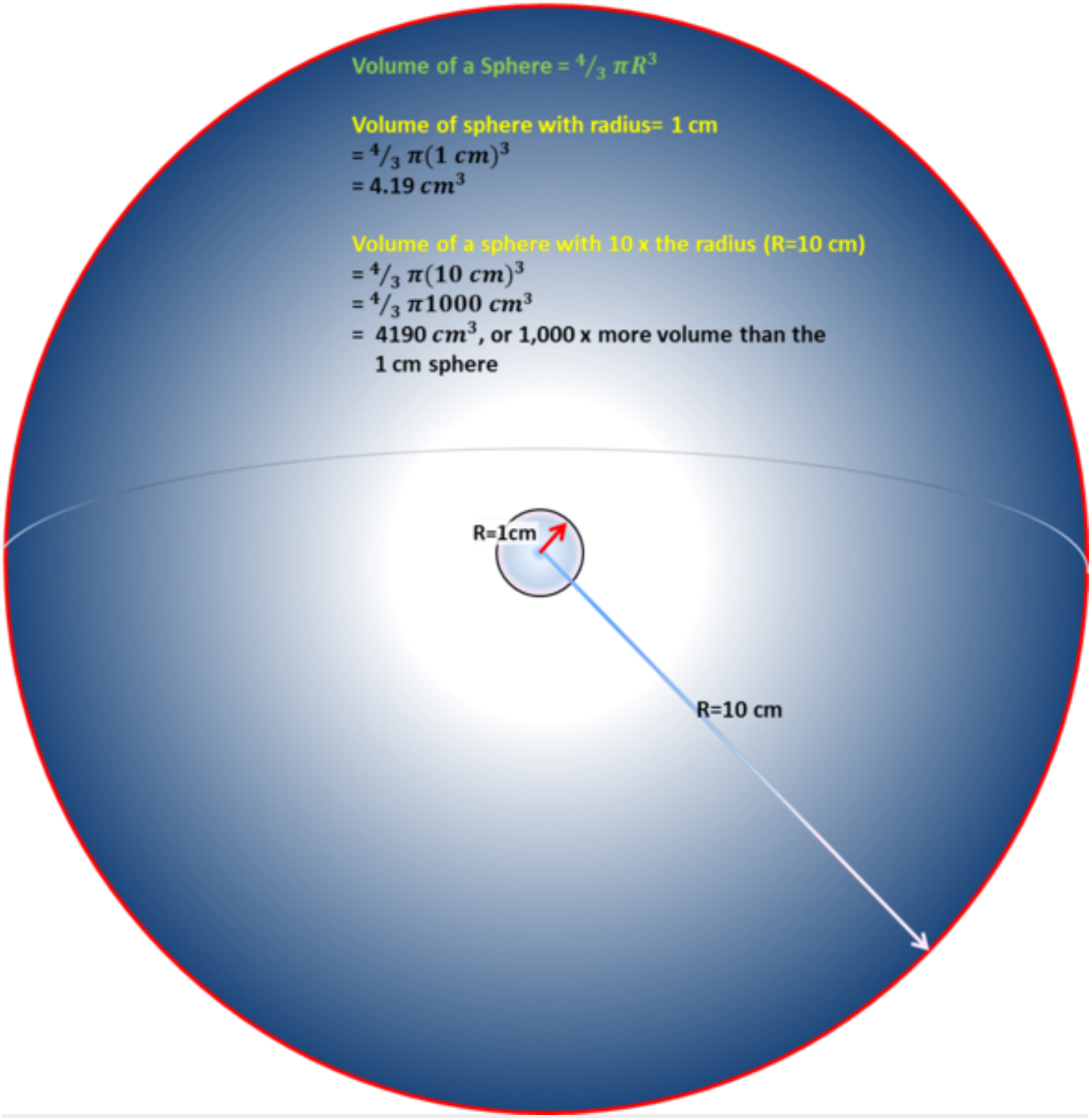
اكتمل بناء كاشفي لايغو الأصليين للموجة الثقالية في العام 1999. وبدأ أول بحث عن الموجات الثقالية في العام 2002، واختتمَ في العام 2010، وفي أثناء هذه الفترة لم تُكتشف أي موجات ثقالية. بيد أن هذه الخبرة أفادت كثيراً في التحضير للمرحلة الثانية من بحث لايغو عن

الموجات الثقالية.



سيبحث لايغو الجديد حجماً أكبر بـ 1000 مرة من محتويات الفضاء مقارنة ببحثه الأول عن الموجات الثقالية.

أدت الدروس المستفادة من عملية تشغيل لايغو الابتدائية إلى إعادة تصميم شاملة لأجهزة لايغو، التي أعيد بناؤها لاحقاً بين العامين 2010 و2014. لقد أدت إعادة التصميم هذه إلى جعل مقياس التداخل (**interferometers**) الخاص بلايغو أكثر حساسية بـ 10 مرات. وزيادة الحساسية إلى 10 أضعافها تعني أن لايغو الجديد والمحسن سوف يتمكن من الاستماع للموجات الثقالية على مدى 10 مرات أبعد من لايغو الابتدائي.



الوصول إلى مدى أكبر بعشرة أضعاف يساوي البحث في حجم أكبر 1000 مرة من الفضاء.

يمثل هذا تطوراً كبيراً، حيث أن الاستماع على مدى 10 مرات أبعد سيتيح للايغو الوصول إلى حجم (**volume**) فضاء أكثر 1000 مرة (يزداد الحجم مع مكعب المسافة، لذلك 10 مرات أبعد تعني\(10×10×10=1000\) مضروبة بحجم الفضاء)، وإلى 1000 مرة أكثر من المجرات التي تستضيف مصادر الموجات الثقالية. بدأ هذا البحث الأكثر عمقاً عن الموجات الثقالية في سبتمبر/أيلول 2015.

لايغو وعلم الاستكشاف العصري

في الواقع، إن لايغو هو تجربة فيزيائية رفيعة صممت لرصد الموجات الثقالية من بعض أكثر أحداث الكون عنفاً وقوة. وسيزود لايغو علماء الفيزياء بسبل للإجابة عن أسئلة علمية رئيسية عبر تحقيقه رصداً للموجات الثقالية، على سبيل المثال:

- ما هي خصائص الموجات الثقالية؟
- هل النسبية العامة هي النظرية الصحيحة للجاذبية؟
- هل النسبية العامة لا تزال فعالة في ظل ظروف الجاذبية الفائقة؟
- هل الثقوب السوداء في الطبيعة هي الثقوب السوداء في النسبية العامة؟
- كيف تتصرف المادة تحت تأثير الكثافة والضغط المفرطين؟
- ما الذي يحدث عندما ينهار نجم ضخم؟
- كيف تتشكل وتتطور النجوم الثنائية المدمجة، وماذا يمكنها أن تخبرنا عن تاريخ معدلات تشكل النجوم في الكون؟

لمعلومات أكثر تفصيلاً عن تأثير لايغو على المجتمع العلمي عالمياً زر (تأثير لايغو على العلوم).

هندسة لايغو الفائقة

يعد لايغو مثالاً على الهندسة والتقنية الفائقة. حيث يتألف لايغو من:

- كاشفين 'أعميين' على شكل زاوية قائمة وحجرتين فراغيتين بطول 4 كيلومترات...
- بُنيا منفصلين بمسافة تبلغ 3000 كيلومتر ويعملان كوحدة واحدة....
- لقياس حركة أصغر بـ 10,000 مرة من نواة الذرة (وهو أصغر مقياس جربه العلم على الإطلاق)...
- ناتجة عن أكثر الأحداث عنفاً وكارثية في الكون...
- وتحدث على بعد ملايين السنوات الضوئية!

وفي ما يلي بعض أبرز الحقائق الهندسية الخاصة بلايغو.

- **حساسية قصوى:** صُمم لايغو ليرصد التغير في المسافة بين مرآتيه بمقدار 1/10000 من عرض البروتون! وهذا يعادل قياس المسافة إلى أقرب نجم بما يقارب مقدار عرض شعرة الإنسان!

- **ثاني أكبر حجرتين فراغيتين في العالم:** كل من الحجرتين الفراغيتين، اللتين تبلغ سعتهما 10000 متر مكعب (350,000 قدم مكعب)، بالإمكان أن تحوي جنباتهما نحو 11 طائرة بوينغ 747–400 تجارية. بعبارة أخرى، الهواء المزال من كل من حجرتي لايغو الفراغيتين يمكن أن ينفخ مليونين ونصف كرة قدم أمريكية، أو 1.8 مليون كرة قدم! ولا يفوق حجم فراغ لايغو إلا مصادم هادرون الكبير في سويسرا فقط.

- **فراغ فائق العلو:** الضغط داخل أنابيب التفريغ الخاصة بلايغو هو واحد من الترليون من "الغلاف الجوي" (في المصطلحات العلمية، يعادل هذا \(10^{-9}\) تور (**torr**). استغرق الأمر 40 يوماً (1100 ساعة) لإزالة الـ 10,000 متر مكعب (353,000 قدم

مكعب) من الهواء وغيرها من الغازات المتبقية من كل أنبوب تفريغ في لايغو، للوصول إلى ضغط هواء يبلغ واحداً من التريليون من الضغط عند مستوى سطح البحر.

- **ضغط الهواء على أنابيب التفريغ:** يبلغ 155 مليون كيلوغرام (341 مليون رطل) من دكِ الهواء (**air press down**) على طول الأربعة كيلومترات لأنبوب التفريغ. والملفت للنظر، هو أن الأنابيب المعدنية التي تصد كل ذلك الهواء تبلغ سماكتها 3 ملم فقط (0.12 بوصة).

- **إنحناء الأرض:** أذرع لايغو على درجة من الطول بحيث أن انحناء الأرض يبلغ متراً واحداً قابلاً للقياس (عمودياً) على طول كل ذراع، الذي يبلغ طوله 4 كيلومترات. وقد تطلب الأمر أعلى درجات الدقة التي يمكن تصورها في صب الخرسانة وتسويتها، للتصدي لهذا الانحناء وضمان أن حجرات لايغو الفراغية "مسطحة" ومستوية حقاً. لولا ذلك، لضربت أشعة ليزر لايغو نهاية كل ذراع عند متر واحد فوق المرآتين اللتين يفترض أن يرتد عنهما.

المرافق

مرفق بحثي على المستوى الوطني

على الرغم من أنه يعتبر مرصداً واحداً، إلا أن لايغو يتألف من أربعة مرافق متميزة في أنحاء الولايات المتحدة: اثنان من كواشف الموجات الثقالية (مقياسي التداخل) ومركزا أبحاث جامعيين. ويقع مقياسا التداخل في مناطق معزولة إلى حد مقبول من واشنطن (لايغو هانفورد) ولويزيانا (لايغو ليفينغستون)، ويفصل بينهما 3002 كيلومتر (1865 أميال). ويقع مركزا الأبحاث الرئيسيين في معهد كالتك في باسادينا، كاليفورنيا، ومعهد **MIT** في كامبريدج، ماساشوستس.

الذراع X للايغو تمتد إلى صحراء واشنطن. (المصدر: كيم فيترو/ ايمجوورك)

مواقع الكواشف في هانفورد وليفينغستون هي موطن مقياسي التداخل اللذين يجعلان من لايغومرصداً. يعمل نحو 40 شخصاً في كل موقع من الموقعين، بما في ذلك المهندسون والفنيون والعلماء الذين يحافظون على تشغيل الأجهزة ويراقبون أنظمة التفريغ والحاسوب على مدار الساعة، والموظفون الإداريون وموظفو الأعمال موجودون أيضاً. وكذلك الحال مع المختصين في التعليم والتوعية العامة المهنيين الذين يقومون بجولات عامة وييسرون الرحلات الميدانية للطلبة المحليين وينظمون المناسبات العامة الدورية.

بصفتهما مؤسستين أكاديميتين وبحثيتين رئيسيتين لديهما مختبرات ومرافق على مستوى عالمي، فإن معهد كالتك ومعهد **MIT** هما مقرا مهندسي لايغو الذين يقضون أيامهم في البحث عن طرق لتحسين حساسية لايغو واستقراره، وعلماء الفيزياء والفيزياء الفلكية الذين يسعون جاهدين لفهم خصائص الظواهر الفيزيائية التي تولد الموجات الثقالية. هذه المهام الحاسمة مستمرة.

محطة لايغو الركنية في ليفنغستون (LIGO Livingston's corner station). تمتد كل ذراع إلى 4 كيلومترات (2.5 ميل) من هذه البقعة. (المصدر: جورج كاتزمان/لايغو)

بدأت أحدث مقاييس التداخل "**المتقدمة**" لدى لايغو بجمع البيانات في سبتمبر 2015. وجمع كاشفا هانفورد وليفينغستون البيانات في وقت واحد، وهما يعملان معاً كأنهما مرصد واحد. هذا التنسيق ضروري للتمكن من التحقق من كشف الموجات الثقالية المحتملة.

لمعرفة سبب الأهمية الحاسمة لذلك في تشغيل لايغو، قم بزيارة كاشفي لايغو المزدوجين

المسار الزمني

في سبعينيات القرن العشرين بدأت دراسات الجدوى والعمل المبكر على مقياس التداخل الليزري للأمواج الثقالية، بما في ذلك ورقة بحثية من معهد **MIT** صدرت في العام 1972 وصفت كاشفاً على مستوى الكيلومتر (**kilometer-scale**) وقدرت مصادر الضوضاء الرئيسية.

- في العام 1979 مولت مؤسسة العلوم الوطنية معهد كالتك ومعهد **MIT** لتطوير أبحاث مقياس التداخل الليزري.
- في العام 1983 قدم معهدا **MIT** و"كالتك" لمؤسسة العلوم الوطنية دراسة هندسية تفصيلية عن كاشفٍ على مستوى الكيلومتر.
- في العام 1990 وافق مجلس العلوم الوطني **NSB** على اقتراح بناء لايغو.
- في العام 1992 اختارت مؤسسة العلوم الوطنية مواقع لايغو في كل من هانفورد وواشنطن، وليفينغستون ولويزيانا، ووُقعت اتفاقية التعاون بين المؤسسة ومعهد كالتك.
- في العام 1994 بُنيت المواقع في هانفورد وليفينغستون.
- في العام 1997 تأسست شراكة لايغو العلمية (**LSC**).

- في العام 1999 أقيم حفل افتتاح لايغو.
- في العام 2001 أجريت أول عملية مزامنة بين مقياسي لايغو للتداخل ومقياس التداخل **GEO600** وكاشف الحجز (**bar detector**) الخاص بجامعة لويزيانا الحكومية.
- في الفترة 2002–2003 جُمعت بيانات الرصد بواسطة مقياسي لايغو للتداخل بالشراكة مع مقياسي التداخل **GEO600** و**TAMA300**.
- في العام 2004 وافق مجلس العلوم الوطني على لايغو المتقدم.
- في العام 2005 أُنجز تصميم حساسية (**design sensitivity**) لايغو وبدأت عملية مقارنة بيانات (**data run**) مدتها عامان على درجة حساسية التصميم.
- في العام 2006 أُفتتح مركز تعليم العلوم في مرصد لايغو في ليفينغستون.
- في العام 2007 وُقعت اتفاقية التحليل المشترك للبيانات بين لايغو وشراكة فيرغو (**Virgo Collaboration**)، وبدأ الرصد المشترك مع فيرغو.
- في العام 2008 بدأ بناء مكونات لايغو المتقدم.
- في العام 2010 أُختتمت أعمال لايغو الابتدائية، وبدأ تنصيب لايغو المتقدم.
- في الفترة 2011–2014 تم تركيب واختبار لايغو المتقدم.
- في العام 2014 تم إنجاز تنصيب لايغو المتقدم، وتجاوزت حساسية لايغو المتقدم حساسية لايغو الابتدائي، وتمت الموافقة على كل مقاييس لايغو المتقدم للتداخل.
- في العام 2015 دُشن لايغو المتقدم في شهر مايو/آيار، وبدأ أول تشغيل رصدي لكواشف لايغو المتقدم في شهر سبتمبر/أيلول.
- في العام 2016 أُختتم أول تشغيل رصدي لكواشف لايغو المتقدم في شهر يناير/كانون الثاني.

أسئلة الشائعة

فيما يلي إجابات على بعض من أكثر الأسئلة تكراراً عن لايغو.

ما هي الموجات الثقالية؟

سؤال جيد! إنه جيد لدرجة أن لدينا صفحة إلكترونية مخصصة كلها للإجابة عنه.

لمعرفة المزيد قم بزيارة صفحة ما هي الموجات الثقالية.

كيف سيعرف لايغو ما إذا كانت إشارة ما ضمن البيانات قد أتت حقاً من حدث في الفضاء؟ هل يمكنكم أن تتيقنوا من ذلك 100% على الإطلاق، حتى عندما تقيس مختبرات متعددة نفس الاهتزاز؟

هذا في الواقع هو جزء كبير من العمل الذي قام به كثير من العلماء في تعاون لايغو العلمي ـ عزل اهتزاز موجة ثقالية عن كل الاهتزازات الأخرى التي تستشعرها الكواشف (لايغو يسمي أي اهتزاز لا ينتج عن موجة ثقالية "**ضوضاء**"). ونحن نستخدم تقنيات متعددة لتساعد على غربلة الضوضاء، منها:

- ضبط كل مصادر الضوضاء المعروفة (على سبيل المثال، الزلازل والرياح وأمواج المحيط ومرور الشاحنات على الطرق المجاورة والأنشطة الزراعية، بل وحتى الاهتزازات الجزيئية في مرايا لايغو). وذلك بواسطة أجهزة قياس الزلازل

(**seismometers**) والمقاييس المغناطيسية (**magnetometers**) والميكروفونات وكواشف أشعة غاما (**gamma ray detectors**)، ومن ثم إزالة الإشارات الناتجة عن مصادر الضوضاء هذه.

- البحث عن الإشارات المتزامنة التي التقطتها كواشف متعددة في جميع أنحاء العالم (لايغو وفيرغو و **GEO600**) لاستبعاد الضوضاء الموضعية في كاشف معين. وفي غضون سنوات قليلة، سيبدأ في اليابان كاشف آخر كبير للموجة الثقالية (**KAGRA**) بالاستماع، ما سيضيف آذاناً آخرى للبحث عن الموجة الثقالية. وكلما ازداد عدد الكواشف التي تستشعر نفس الاهتزاز في "نفس الوقت" (مع الأخذ في الاعتبار زمن الانتقال بين الكواشف)، كلما ازددنا يقيناً بأن مصدر الاهتزاز لم يكن موضعياً.

- استخدام تقنيات تحليل رفيعة للفلترة والعزل الإحصائيين للضوضاء عن الإشارة المحتملة.

- مقارنة النتائج مع الأنماط التنظيرية للموجات الثقالية الناتجة عن الظواهر المعروفة.

- مطابقة توقيت حدث الموجة الثقالية المحتملة مع المراصد الفلكية، على أمل مشاهدة حدث كهرومغناطيسي متزامن في السماء (على سبيل المثال، ضوء من انفجار مستعر أعظم (**Supernova**)).

ولكن، على الرغم من هذه الاحتياطات، ليس هناك جهاز قياس دقيق أو مضبوط 100%، ولذلك، ليست هناك أي نتيجة تجريبية مؤكدة 100% أبداً. بالنسبة إلى لايغو، نحن نود أن نكون متأكدين أكثر من 99.9999 % من أن أي رصد محتمل لم يكن مجرد ضوضاء. وما أن نبدأ في مشاهدة الإشارات بشكل منتظم بالتزامن مع مشاهدات أخرى ومراصد أخرى في العالم، فإن ثقتنا بأننا حقا نرصد موجات ثقالية سوف تنمو إلى حد أن أي شكوك ستكون أصغر من أن تثير القلق.

لماذا نحتاج إلى خلق فراغ للحصول على بيانات دقيقة؟

هناك سببان رئيسيان لحاجة لايغو للعمل في فراغ خالص.

1. للحد من الاهتزازات الصوتية. الموجات الصوتية هي اهتزازات الجزيئات التي، عندما ترتد عن العوائق، تتسبب في اهتزاز أشياء أخرى، مثل طبلة أذنك. ولأن الإشارات التي يحتاج لايغو لاستشعارها حساسة جداً، فحتى حفنة من الجزيئات المرتدة عن مرايا لايغو قد تحفز اهتزازات من شأنها حجب إشارات الموجة الثقالية.

   هذا هو السبب في بذل كثير من الجهد للتخلص من أكبر قدر ممكن من الهواء بواسطة نظام لايغو للتفريغ. وبما أن الصوت لا ينتقل في الفراغ (**عدم وجود جزيئات يعني عدم وجود صوت**)، فإن بيئة لايغو تمنع الموجات الصوتية من التسبب في اهتزازات على المرايا. يوفر الفراغ بيئة فائقة السكون وشبه خالية من الجزيئات يستطيع الكاشف العمل فيها و"**الاستماع**" فقط للموجة الثقالية.

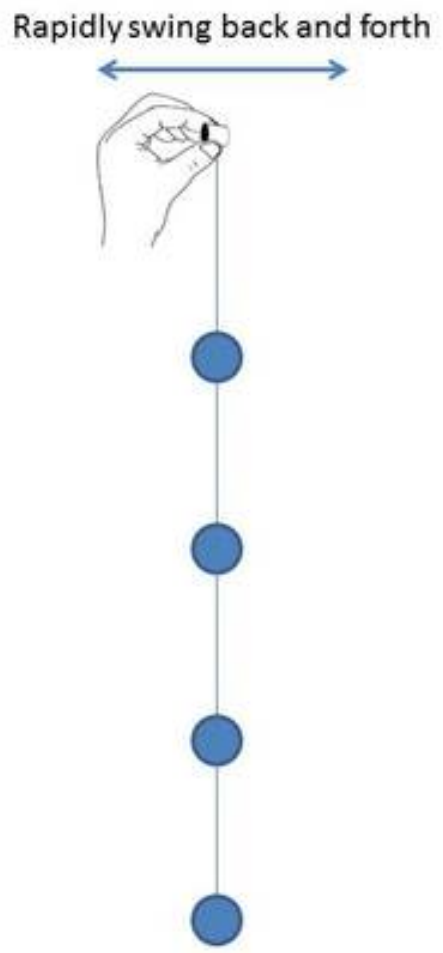
2. لتقليل الاهتزازات الخفيفة. يستخدم لايغو ليزرات لقياس المسافة بين المرآتين المتدليتين. عندما تمر موجة ثقالية، تتحرك المرآتان ويتسبب ذلك في اضطرابٍ طفيفٍ جداً في تردد ضوء الليزر. لسوء الحظ، يمكن للضوء (**بما في ذلك أشعة الليزر**) أن يتشتت وأن ينكسر، و(**من المحتمل**) أن تمتصه جزيئات الهواء.

وهذا يعني أن اعتراض حتى جزيئات قليلة من الأكسجين أو النيتروجين طريق واحد من أشعة ليزر لايغو قد تتسبب في اضطراب الشعاع وحجب إشارة أي موجة ثقالية عابرة. يمكن تشبيه هذا بالنجمة البراقة. أي شخص شاهد نجمة براقة يعرف ما الذي يمكن أن يفعله الهواء بالضوء. إن مشاهدة نجمة تبرق والقفز حولها يجعلك تظن أن النجمة نفسها تقفز في الجوار أو أنها تغير شدة سطوعها. ولكن هذا ليس إلا ضوء النجمة الرقيق منكسراً أثناء عبوره خلال جيوب مختلفة الكثافة من الغلاف الجوي.

في الفضاء، حيث لا يوجد هواء، لا تبرق النجوم. وبنفس الطريقة، إذا كان هناك هواء في أنابيب شعاع ليزر لايغو، فإن أشعة الليزر سترتد في الجوار (تبرق، جوهرياً) مما يؤدي إلى استحالة التمييز بين البريق الناتج عن الهواء وذلك الذي تسببه موجة ثقالية حقيقية. وللحد من فرص البريق، فإن لأنابيب تفريغ لايغو جزيئات أقل بـ 8–10 مرات من فراغ الفضاء. وهذا يضمن أن أي اهتزازات مشاهدة في ضوء الليزر، على الأقل، ليست ناتجة عن الانكسار بواسطة جزيئات الهواء.

كيف تمنعون المرايا من رصد الاهتزازات الأرضية؟

يستخدم لايغو استراتيجيتين أساسيتين لحماية الكواشف من الاهتزازات الأرضية. ويشار إليهما بنظام عزل الاهتزاز "السلبي" ونظام عزل الاهتزاز "النشط".



بندول "رباعي" أساسي لشرح الإخماد (damping) السلبي من خلال التعليق (suspension).

يقوم نظام لايغو السلبي لعزل الاهتزاز بامتصاص الاهتزازات قبل أن تصل إلى المرايا شديدة الأهمية. إحدى الطرق التي تُمتص فيها هذه الاهتزازات، هي من خلال نظام تعليق البندول (**pendulum suspension system**): مرايا لايغو الرئيسية معلقة من أسفلها بأربعة بندولات ـ كل عقدة (**node**) في البندول عبارة عن كتلة ضخمة (تزن كل واحدة من مرايا لايغو 40 كيلوغراماً أو 88 رطلاً).

وبما أن الأشياء الثقيلة لا تحب الحركة (هذا هو قانون القصور الذاتي لنيوتن (**Law of Inertia**))، وبفضل وزنها وحده، تقوم كل كتلة فوق كل خطوة من بندول الخطوات الأربعة بامتصاص الاهتزازات من الكتلة التي تعلوها حتى لا يصل شيء إلى الكتلة المعلقة السفلى شديدة الأهمية: مرآة لايغو لعكس الليزر.

لتوضح التأثير لنفسك، اربط أربع عزقات أو براغي معاً على شكل خط، بحيث تفصل بين كل منها مسافة متساوية على خيط (**انظر الشكل إلى اليسار**). امسك الخيط من الأعلى وهز قمته إلى الأمام والخلف سريعاً وبمقدار صغير (إنك تحاكي الاهتزازات التي في البيئة المحيطة بلايغو).

سترى أن الكتلة السفلى لن تتحرك كثيراً على الإطلاق بالمقارنة مع مقدار تحريكك للكتلة العليا، لأن كل كتلة في السلسلة تَمتص أو "تُخمِد" الاهتزاز وتعزل الكتلة الأخيرة عن كثير من الضوضاء التي تعلوها.

مصطلح العزل "النشط" يلمح إلى أنه عملية نشطة تقوم بموجبها مجموعة من المجسات باستشعار الاهتزازات وترسل الإشارات إلى "مشغلات القوة" (**force actuators**) التي تولد قوى مضادة لإلغاء الاهتزازات. وهذا هو نفس المبدأ الأساسي الذي تعمل بموجبه سماعات إلغاء الضوضاء.

في حالة لايغو، تحدث عملية العزل النشطة فعلياً خارج نظام التعليق، مزيلة أكبر الاهتزازات قبل أن تصل إلى الخطوة الأولى في البندولات التي أتى وصفها أعلاه (كما يوحي الاسم، أدوات التعليق في لايغو هي أيضا "مُعلقة" أسفل منصات العزل الزلزالي النشطة). ثم تقوم أدوات التعليق بإزالة الاهتزازات الأصغر، لتترك مرايا لايغو ثابتة تماماً ومهيئة للكشف عن الموجات الثقالية.

لمعرفة المزيد عن كيفية عمل أنظمة العزل هذه، إقرأ عزل الاهتزاز.

كيف يستخدم لايغو البيانات التي يجمعها؟

في العام 1916، تنبأ ألبرت أينشتاين بوجود الموجات الثقالية في نظريته النسبية العامة. ونحن نعلم الآن من الملاحظات غير المباشرة أنها موجودة، ولكنها لم تُرصد مباشرة أبداً. ما أن يبدأ لايغو برصد الموجات الثقالية بانتظام وبثقة، فسوف تستخدم هذه البيانات للإجابة عن الأسئلة المعلقة حول الفيزياء والكون بشكل عام. بما أن كل مصدر من مصادر الموجات الثقالية يعزف "نغمة" فريدة، فإن أول ما سنعرف هو أي حدث مذهل في الكون ولّد الموجة. الاحتمالات المعروفة هي:

- إندماج (التحام) ثقبين أسودين أو نجمين نيوترونيين أو نجم نيوتروني وثقب أسود في مدار حول بعضهما.
- اهتزاز أو دوران نجم نيوتروني متخبط.
- انفجار مستعر أعظم متكتل (إذا كان النجم غير كروي تماماً عند انفجاره).
- حركات المادة والطاقة بعد الانفجار العظيم مباشرة.

هناك دائماً احتمال أن نرصد شيئاً لم يخطر لنا على بالٍ قط. وبعد ذلك، ستضاف نتائج لايغو لمعرفة علماء الفلك الذين يقومون بالرصد

في الطيف الكهرومغناطيسي (في هذه الأيام، يدرس علماء الفلك الكون ليس فقط بواسطة الضوء المرئي، بل أيضاً بواسطة موجات الراديو وضوء الأشعة تحت الحمراء، وحتى الأشعة السينية، وهي كلها جزء من الطيف الكهرومغناطيسي). في بعض الحالات، نأمل في أن بيانات لايغو سوف تتضمن الأجزاء الرئيسية من المعلومات اللازمة للإجابة عن هذه الأسئلة الكبرى:

- كم عدد النجوم النيوترونية والثقوب السوداء الموجودة في مجرة نموذجية؟
- كيف تتطور النظم الثنائية التي تحتوي هذه الأجسام، وكم مرة تلتحم؟
- هل هذه الأنظمة هي مصدر انفجارات أشعة غاما الملحوظة والغامضة التي نشاهدها غالباً؟
- ما مدى تكتل انفجارات المستعرات العظمى والنجوم النيوترونية؟
- هل تؤثر الثقوب السوداء حقاً في المكان والزمان على النحو الذي تنبأت به نظرية أينشتاين؟
- هل تستطيع الموجات الثقالية أن تخبرنا شيئاً عن اللحظات الأولى بعد الانفجار الكبير؟

إضافة إلى ذلك، وعلى الرغم من أن لايغو سوف يبحث عن موجات ثقالية سببتها الأجسام الفلكية، فإن بيانات لايغو سوف تقدم إضافة لمجتمعات الفيزياء والهندسة عالمياً وسوف تساعد على الإجابة على الأسئلة الأساسية في الفيزياء، على سبيل المثال:

- ما هي خصائص الموجات الثقالية؟
- هل النسبية العامة نظرية صحيحة عن الجاذبية؟
- هل تسري النسبية العامة في ظل ظروف الجاذبية الفائقة؟
- هل الثقوب السوداء في الطبيعة هي الثقوب السوداء في النسبية العامة؟
- كيف تتصرف المادة تحت وطأة الكثافة والضغط الفائقين؟

أخيراً، وليس آخراً، إن لايغو يقدم بالفعل إضافات خارج نطاق علم الفلك والفيزياء الفلكية من خلال تطوير المعرفة في المجالات التالية:

- القياس الكمومي/ قياس الزمكان فائق الدقة
- البصريات/ البصريات الكمومية/ الأنظمة الليزرية
- علوم وتكنولوجيا الفضاء
- الجيولوجيا وعلم المساحة التطبيقية (**geodesy**)
- علوم وتكنولوجيا المواد
- فيزياء درجات الحرارة المتدنية (**Cryogenics**) وإلكترونياتها (**cryo-electronics**)
- الحوسبة
- منهجيات الفيزياء النظرية

وعلى الرغم من أن لايغو قد صمم بهدف الاستماع لظاهرة واحدة مراوغة وغير قابلة للرصد تقريباً، إلا أن أثره العام على العلم سيكون بالغاً..

كم مرة تمر الموجات الثقالية التي يمكن للايغو أن يرصدها بجوار الأرض؟

يعتقد أن ظهور الموجات الثقالية القوية هو على قدر من الندرة لم يسمح للايغو برصد أي منها خلال السنوات الثلاث والنصف الأولى من تشغيله بين 2005–2010. ولكن، مع ترقية لايغو (**تجهيز لايغو بسماعات خاصة جداً لإلغاء الضوضاء وليزرات عالية الطاقة ومرايا أكبر**) فإننا نأمل في الإجابة على هذا السؤال بحسم أكبر.

وحتى مع الترقية، سوف "يسمع" لايغو فقط الأعلى صوتاً من بين الأحداث التي تُنتج الموجات الثقالية في الكون (**أي، الأحداث التي**

وقعت في غضون مائتين أو ثلاثمائة مليون سنة ضوئية)، على سبيل المثال، اندماج الثقوب السوداء أو تصادمات نجم نيوتروني. تُنتَج موجات ثقالية عديدة في الكون طوال الوقت، ولكنها ستقع دون حساسية الكواشف الحالية في العالم. لتوضيح ما نعنيه، تخيل أنك تقف في وسط حقل يبلغ حجمه بضعة هكتارات قليلة.

وهناك حفنة قليلة من الناس منتشرين في أرجاء الحقل وليس من أحد منهم قريب منك، واحد أو اثنان منهم يصرخون وبعضهم يتحدثون والبعض الآخر يهمسون، وكل موجاتهم الصوتية تمر بأذنيك، فهل ستسمعهم كلهم؟ لا ـ على الأرجح ستسمع فقط من يصرخون، وإذا لم تكن أذنك حساسة بما يكفي، فإنك قد لا تسمع حتى الصراخ القادم من مكان بعيد بما يكفي.

وإذا ما كانت هناك أيضاً حركة سير ورياح وطائرات تحلق في الجوار (**مثل الضوضاء البيئية التي يجب على لايغو أن يتعامل معها**)، فستزداد صعوبة سماع محتوى هذه المحادثات. قد تسمع "طنين" صوت، ولكن سيكون من الصعب تمييز محادثة واحدة معينة من أخرى. الصوت (أو الأصوات) التي ستستطيع سماعها وفهمها ستكون تلك الأعلى من بين كورال الأصوات الأخرى التي تقتحم أذنك.

إذا كانت التقديرات الحالية تقول أن دمج النجوم النيوترونية تولد الموجات الثقالية في مجرة مرة واحدة كل 10,000 سنة، فكم عدد الأحداث التي نستطيع رصدها في السنة؟

لقد توقعنا فعلاً أنه ما أن يبلغ لايغو حساسيته القصوى، فإننا قد نرصد حوالي 40 سنوياً، وهذه فقط من دمج النجوم النيوترونية. وسيكون هناك المزيد إذا رصدنا مصادر أخرى مثل اندماج الثقبوب السوداء والمستعرات العظمى.

كيف يمكن ذلك إذا كانت هذه الأحداث نادرة جداً في مجرتنا؟

إذا كانت أبعد مسافة يستطيع لايغو سماعها موجودة فقط داخل مجرتنا (**قُل على بعد 30,000 إلى 80.000 سنة ضوئية**)، فربما كان من المرجح أننا سننتظر طويلاً جداً لرصد موجة ثقالية. ولكن كاشفي لايغو المتقدمين يستطيعان سماع مسافة أبعد بآلاف المرات من هذا. وفي حين لا يزال هناك كثير من الأمور المجهولة، فإننا عادة ما نستخدم المسافة إلى الخارج التي يستطيع لايغو أن يرصد فيها بشكل موثوق دمج النجوم النيوترونية الثنائية لتحديد تقديرات الرصد. وعلى درجة الحساسية التي نأمل في أن يحققاها، سيرصد كاشفا لايغو دمج النجوم النيوترونية من مسافة تبعد 650 مليون سنة ضوئية.

ولكن هذه مسافة فقط. أما من حيث حجم الفضاء، فإن 650 مليون سنة ضوئية تُترجم إلى حجم كروي يزيد على بليون سنة ضوئية مكعبة! هذا الفضاء أكثر كثيراً مما تحتله مجرتنا، أو حتى مجموعة المجرات المحلية. في الواقع، إن بليون سنة ضوئية تحتوي حوالي مليون مجرة من نوع درب التبانة.

مع هذه الكثرة الكثيرة مما يعادل مجرات من النجوم والثقوب السوداء وغيرها من الأجسام الرائعة هناك، فإن هنالك مزيداً من الفرص لسماع موجة ثقالية في كواشفنا في أي لحظة. حين تُجري الحسابات، فإننا نتوقع رصد (في المتوسط) حوالي 40 موجة ثقالية سنوياً.

إذا كانت الموجات الثقالية تبذل مثل هذه التغيرات الضئيلة على الأرض، فما هي أهميتها؟

من المحتمل ألا تفيد الموجات الثقالية في فهم عملياتٍ على الأرض، ولكنها سوف تساعدنا على فهم العمليات التي تحدث في الفضاء الخارجي، على سبيل المثال اصطدام زوجين من الثقوب السوداء. كما يمكن أيضاً أن تساعد المعرفة التي يكتسبها علماء الفلك من قياس

الموجات الثقالية في تحسين فهمنا للمكان والزمان والمادة والطاقة، والتفاعلات بين كل هذه الأمور. وبذلك، يمكن لهذا الحقل المعرفي أن يحقق ثورة في المعرفة الإنسانية وفهم طبيعة الوجود ذاته. بالإضافة إلى ذلك، فإن تأثير لايغو على العلوم بشكل عام سيتجاوز إلى ما هو أبعد من مجالات علم الفلك والفيزياء الفلكية فقط.

للاستزادة، قم بزيارة لماذا نرصدها؟ في تعرف على المزيد.

ما نوع المعلومات التي يمكن أن توفرها الموجات الثقالية؟

ستوفر الموجات الثقالية اختباراً لنظرية أينشتاين النسبية العامة في ظل ظروف فائقة القسوة، حيث لم يسبق أن اختُبرت في حقول ثقالية ديناميكية (أي الكتل المتحركة ذات الحقول القوية). كما أنها ستوفر لنا مزيداً من المعلومات عن شكل من أشكال المادة التي لا يمكن تصور مدى كثافتها والتي تُصنع منها النجوم النيوترونية.

تحتوي النجوم النيوترونية مادة أكثر من شمسنا محشوة في كرة بحجم مدينة ـ حوالي 10 كيلومترات (6 أميال) عرضاً. هذه الأجسام كثيفة إلى حد أن شخصاً يزن 150 رطل (68 كلغ) على الأرض سيبلغ وزنه على النجم النيوتروني حوالي 21.000.000.000.000 رطل (9،545،000،000،000 كلغ)! هذه المادة، المحشورة معاً بشكل وثيق ومكتظ، والتي تصنع النجم النيوتروني، تسمى "مادة متحللة" (**degenerate matter**)، وهي ليست مفهومة جيداً. وسوف يساعد لايغو على تحسين فهمنا للمادة المتحللة.

ستخبرنا الموجات الثقالية أيضاً عن كمية الأجسام الموجودة مثل الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية في الكون. وسوف تعطينا فكرة عما يحدث خلال بعض الانفجارات الأكثر عنفاً في الكون، على سبيل المثال، المستعرات العظمى وانفجارات أشعة جاما. بل وقد تتيح لنا الموجات الثقالية، يوماً ما، الاستماع إلى ما كان يحدث في لحظات الكون الأولى، عندما كان كثيفاً جداً وساخناً بحيث لا يمكن للضوء أن يتنقل فيه.

أي فوتونات انبعثت في تلك الأثناء امتُصت منذ زمن بعيد بواسطة بلازما الأيونات الساخنة، ولكن الموجات الثقالية من تلك الحقبة تستطيع الانتقال إلينا مباشرة على الأرض مع تدخل بسيط من المادة الكونية.

للحصول على قائمة أطول من الطرق التي سوف يقدم فيها لايغو إضافات إلى العلم، إقرأ إجابة السؤال أعلاه، "**كيف يستخدم لايغو البيانات التي جمعها؟**"

ما هي الاكتشافات التي يأمل لايغو في تحقيقها؟

يأمل لايغو في فتح مجال جديد من الفيزياء الفلكية. سواء رُصدت الموجات الثقالية من الثقوب السوداء المتصادمة أو المستعرات العظمى أو الإشعاع المتبقي من الأنفجار العظيم أو حتى أكثر التشوهات ضئالة على النجوم النيوترونية فائقة الكثافة ذات اللف السريع، فإن مقدار المعرفة الأساسية الجديدة الممكنة عن الكون الفائق (**extreme Universe**) (**لأننا ندرس قوى ثقالية فائقة وانفجارات فائقة واصطدامات فائقة**) التي نستطيع كسبها، هي مذهلة.

الأفضل من ذلك، كما هو الحال مع أي علم، هو أن أفضل المكافآت تأتي من اكتشاف أشياء لم نعرفها من قبل ولم يكن بوسعنا حتى تصورها. مثلما حين ننظر إلى السماء مرة تلو أخرى بطريقة مختلفة، سواء كان ذلك من خلال الأشعة تحت الحمراء أو الأشعة السينية أو النظارات الواقية من أشعة غاما، فإنه من شبه المؤكد أننا سنُفاجأ ونُفتن بما لم نتوقع العثور عليه ما إن يصبح علم فلك الموجات الثقالية

مجالاً مستقلاً للبحث.

- التاريخ: 2016-02-14
- التصنيف: فيزياء

#الامواج الثقالية #مرصد ليغو LIGO #رصد الأمواج الثقالية #مقياس التداخل الليزري للأمواج الثقالية #رصد الاهتزازات الأرضية

المصطلحات

- **قياس التداخل (Interferometry)**: التداخل: يعود أصل هذه الكلمة بشكلٍ أساسي إلى ظاهرة تداخل فيزو المسماة نسبةً إلى عالم الفيزياء الفرنسي هيبوليت فيزو (Hippolyte Fizeau) الذي اقترح استخدام التداخل لقياس أحجام النجوم. الفكرة بسيطة جداً: خذ الضوء القادم إلى جميع تلسكوباتك وقم بإسقاط هذه الأضواء على سلسلة من المرايا المرتبة بشكلٍ جيد بحيث تكون جميعها موجودة في نفس مستوي الصورة وكأن المرايا جزء من مرآة وحيدة ضخمة. إذا ما تمَّ القيام بذلك بطريقة تسمح بوصول أضواء التلسكوبات المختلفة إلى نفس مستوي الصورة وفي الوقت ذاته، تُنتج حزمة أضواء التلسكوبات هذه تابع الانتشار النقطي (PSF) الذي يُمثل تحويل فورييه لفتحات التلسكوبات مجتمعةً. وباختصار هي تقنية يستخدمها علماء الفلك للحصول على دقة تلسكوب عملاق بالاعتماد على مجموعة من التلسكوبات الصغيرة.
- **مقياس التداخل (interferometer)**: عبارة عن أداة تقوم بقياس التداخل (Interferometry)
- **أشعة غاما (gamma ray)**: هي الأشعة التي تمتلك الطاقة الأعلى، و الأمواج الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي الأقصر. يُعتقد عادةً أنها مكونة من الفوتونات التي تمتلك طاقةً أعلى من 100 الكترون فولط تقريبا. (يتم اعتبارها "أشعة غاما" عندما يتم استخدامها كصفة). المصدر: ناسا
- **المستعرات الفائقة (السوبرنوفا)** (1 :(**supernova**. هي الموت الانفجاري لنجم فائق الكتلة، ويُنتج ذلك الحدث زيادة في اللمعان متبوعةً بتلاشي تدريجي. وعند وصول هذا النوع إلى ذروته، يستطيع أن يسطع على مجرة بأكملها. 2. قد تنتج السوبرنوفات عن انفجارات الأقزام البيضاء التي تُراكم مواد كافية وقادمة من نجم مرافق لتصل بذلك إلى حد تشاندراسيغار. يُعرف هذا النوع من السوبرنوفات بالنوع Ia. المصدر: ناسا
- **الجيوديسيا (Geodesy)**: فرع من الرياضيات يختص بدراسات شكل ومساحة الأرض، أو مناطق كبيرة منها.
- **معهد أبحاث الفضاء في روسيا، و هو تابع لأكاديمية العلوم الروسية. (IKI)**: معهد أبحاث الفضاء في روسيا، و هو تابع لأكاديمية العلوم الروسية.

المصادر

- ligo
- الصورة

المساهمون

- ترجمة

- هدى الدخيل
- مُراجعة
  - نداء البابطين
- تحرير
  - منير بندوزان
- تصميم
  - Tareq Halaby
  - علي كاظم
- نشر
  - مي الشاهد