

رصد أمواج الجاذبية بشبكة كونية عملاقة من النجوم النابضة

Stephen R. Taylor*

TAPIR Group (Theoretical AstroPhysics Including Relativity & Cosmology), California Institute of Technology, Pasadena, CA, United States

المراجعون الصغار:

**DUARTE
HIGH
SCHOOL**



العمر: 15-18

**LA
CANADA
HIGH
SCHOOL**

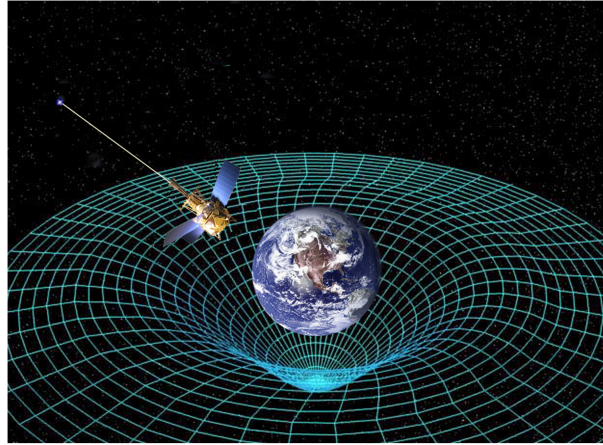


العمر: 16-18

كانت الطريقة الوحيدة لمراقبة الكون هي الضوء الذي تلتقطه التلسكوبات. ولكننا الآن قادرون على قياس موجات الجاذبية، وهي عبارة عن تموجات في نسيج الكون، تنبأ بها العالم الشهير ألبرت أينشتاين. فإذا كان جسمان شديدا الكثافة (مثل الثقوب السوداء) يدوران حول بعضهما البعض، فإنهما يسببان انحناء الفضاء وينبعث منهما موجات جاذبية. يستخدم العلماء مرصد "ليجو" (LIGO) لرصد الثقوب السوداء التي تشابه كتلتها كتلة الشمس. أما بالنسبة للثقوب السوداء الكبرى في الكون (أكبر بمليارات المرات من كتلة الشمس)، فيراقب العلماء شبكة من النجوم النيوترونية سريعة الدوران (تسمى النجوم النابضة) عبر مجرة درب التبانة. ومن شأن أي موجة جاذبية تمر عبرها أن تغير المدة التي تستغرقها إشارات الراديو الصادرة من تلك النجوم النابضة للوصول إلى الأرض. وقد رصد مشروع "نانوجراف" (NANOGrav) 34 نجما من هذه النجوم النابضة على مدار 11 عامًا، في محاولة لالتقاط موجات الجاذبية من الثقوب السوداء العملاقة.

شكل 1

تغطس الأرض في نسيج الفضاء، كما هو الحال مع جميع الكائنات الأخرى، وكلما زادت كتلة الجسم، زاد العمق. هذا ما يسبب سحب الجاذبية، مما يسمح للأجسام الأخرى (مثل الأقمار الصناعية) بالدوران في مدارات. حقوق الصورة، NASA، https://www.nasa.gov/mission_pages/gpb/gpb_012.html.



شكل 1

مقدمة

ربما سمعت عبارة: "ما يصعد لأعلى، لا بد أن يهبط" لكن لماذا؟ لأن كل شيء (أنت، وأنا، والصواريخ، وقطرات المطر) تقع تحت وطأة الجاذبية وتُسحب لأسفل. وتكون قوة السحب هذه أقوى عندما تصدر من أجسام كبيرة، ولكن تأثيرها يضعف على الأجسام البعيدة. فمثلًا، لا تستطيع الصواريخ الهروب من جاذبية الأرض إلا عن طريق حرق كميات هائلة من الوقود لتكوين قوة "دفع" صاعدة أقوى من قوة "سحب" الجاذبية.

المدهش في الأمر هو أن الجاذبية ليست مقتصرة على الأرض؛ فجميع الأجسام الموجودة في الكون تشعر بنفس نوع قوة الجاذبية؛ فهي التي تربط النجوم والأنظمة الشمسية والمجرات معًا. عرف علماء الفلك حتى قبل مئة عام كيفية التنبؤ بمكان ظهور الأجسام في النظام الشمسي في سماء الليل، لكنهم لم يعرفوا حقيقة الجاذبية. كان هذا عندما خطرت لألبرت أينشتاين فكرة مدهشة: فما نطلق عليه الجاذبية الآن ليس في الحقيقة "قوة سحب" مثل التعلق بحبل. ففي نظرية لأينشتاين، يشبه الفضاء بطانية قابلة للتمدد أكثر من كونه منضدة صلبة؛ حيث يغطس كل شيء في هذه البطانية، لكن الأشياء الأكبر تصل إلى انخفاضات (أعماق) أكبر. لذلك، يغطس نجم مثل الشمس بشكل كبير، والأرض تنخفض بدرجة أقل (انظر الشكل 1). تتحرك الأرض ببطء كافٍ بحيث تسقط نحو عمق الشمس، ولكن أيضًا بسرعة كافية بحيث لا يتخذ مسارًا حلزونيًا على الفور؛ وهذا ما يسمى بالمدار.

موجات الجاذبية

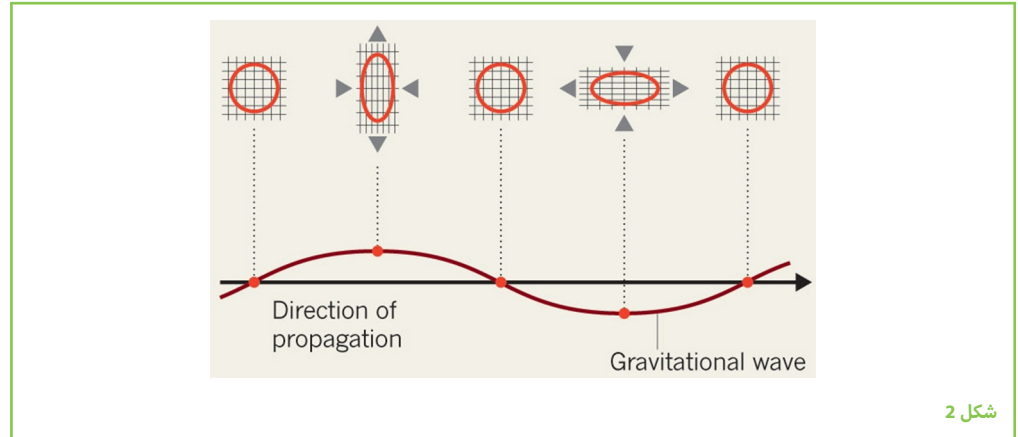
يمكن للفضاء أن ينضغط ويتمدد لتكوين موجات حيث إنه يشبه البطانية أكثر من المنضدة الصلبة. فتخيل مثلًا أنك تقف في دائرة مع مجموعة من الأصدقاء، يحمل كل منكم جزءًا من بطانية مستديرة، إذا قام صديقك على الجانب المقابل من البطانية بهز الجزء الخاص به لأعلى ولأسفل، فسيهتز الجزء الخاص بك أيضًا. على الرغم من أن الجزء الخاص بك من البطانية بدا وكأنه يهتز في نفس الوقت الذي يهتز فيه جزء صديقك، فقد استغرقت الموجة وقتًا ضئيلًا للوصول إليك، وهذا بالضبط ما يحدث في الفضاء، باستثناء أن الفضاء شاسع جدًا. لذلك يتطلب الأمر أجسامًا عملاقة لتكوين موجة كبيرة.

شكل 2

تنتقل موجات الجاذبية بسرعة الضوء. وتسبب الموجات تمددًا وانكماشًا في نسيج الفضاء في المستوى العمودي على اتجاه حركة الموجة. حقوق الصورة

Markus

Pössel/Einstein-online.info.



شكل 2

موجة الجاذبية

(GRAVITATIONAL WAVE)

تموج في المكان والزمان ناتج عن تسارع أجسام ضخمة.

مرصد ليجو

(LIGO)

"ليجو" هي اختصار لـ "مرصد قياس تداخل موجات الجاذبية بالليزر". وهو عبارة عن زوج من أجهزة الكشف عن موجات الجاذبية الكبيرة الموجودة في هانفورد بواشنطن، وفي ليفينغستون بلويزيانا. وقد رصدت هذه الكواشف موجات الجاذبية للمرة الأولى في عام 2015.

مرصد فيرجو

(VIRGO)

مرصد لموجات الجاذبية مماثل لمرصد "ليجو"، ولكنه يقع في إيطاليا.

النجم النيوتروني

(NEUTRON STAR)

عندما ينفد وقود نجم عادي وينهار بسبب الجاذبية ينتج عن ذلك جسم كثيف للغاية، ويتوقف الانهيار عندما يقاوم ضغط النيوترونات قوة الجاذبية.

الثقب الأسود

(BLACK HOLE)

يتشكل الثقب الأسود عندما يعجز النجم عن منع الانهيار التام الناتج عن الجاذبية. والثقب عبارة عن نقطة ذات كثافة لا محدودة، لدرجة أن حتى الضوء لا يستطيع الإفلات من قبضة الثقب الأسود.

إذا كان هناك جسمان يتحركان حول بعضهما البعض في مدار، فيمكنهما هز الفضاء بما يكفي لتكوين موجات. وتسمى هذه الموجات موجات الجاذبية، وتتحرك بسرعة الضوء.

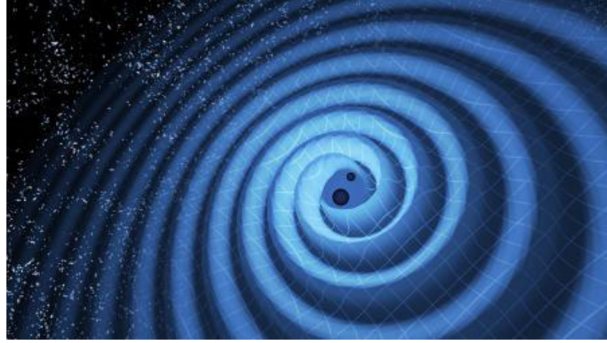
وبينما تنتقل موجة الجاذبية عبر الفضاء، تُسبب تمدد الفضاء وانكماشه، لكن هذا التمدد والانكماش لا يحدث على طول الاتجاه الذي تتحرك فيه الموجة، وإنما يحدث التمدد والانكماش بشكل عمودي على الاتجاه الذي تتحرك فيه موجة الجاذبية (انظر الشكل 2). استخدم العلماء مؤخرًا معدات متخصصة لبناء تجارب كبيرة عالية الحساسية حتى تتمكن من قياس ذلك التمدد والانكماش؛ مثل مرصد ليجو (LIGO) [1] ومرصد فيرجو (Virgo) [2]. ولكن، كما ذكرنا سابقًا، شدة كثافة الفضاء تجعل بإمكاننا قياس الموجات من أنواع خاصة من الأجسام الفلكية الكثيفة القريبة جدًا من بعضها البعض. تسمى هذه الأجسام بالنجوم النيوترونية، والثقوب السوداء.

النجوم النيوترونية والثقوب السوداء

على غرار صواريخ الفضاء، تحرق النجوم كميات هائلة من الوقود لخلق قوة دفع إلى الأعلى تمنع الجاذبية من دفع النجم إلى الانهيار. وعندما ينفد وقود النجم، يبدأ في الانهيار للداخل، ولكن يمكنه إنقاذ نفسه من الانهيار التام مرتين على طول الطريق، المرة الأولى عندما يتعذر ضغط الذرات الموجودة داخل النجم معًا بدرجة أكبر. هذا ينقذ النجم لبعض الوقت، ولكن إذا كان النجم كبيرًا بما يكفي، فستكون الجاذبية قوية جدًا لدرجة أنها تضغط كل الذرات معًا، وتظل الفرصة الأخيرة لنجاة هذا النجم من الانهيار هي عندما تتمكن الوحدات البنائية الصغيرة المكونة للذرة والتي تعرف بالنيوترونات من منع نفسها من الانضغاط معًا؛ وهذا يخلق ما يسمى نجمًا نيوترونيًا. تتميز المادة في النجم النيوتروني بأنها فائقة الكثافة؛ لدرجة أن ملعقة منها تساوي وزن ناطحة سحاب! أخيرًا، إذا كان لدينا نجم ضخم حقًا، فحتى مقاومة النيوترونات للضغط لن تتمكن من إيقاف الانهيار التام. ويؤدي الانهيار الكلي للنجم إلى تكوين ثقب أسود. والثقوب السوداء ليست مادة؛ بل تتكون من الجاذبية نفسها، وينتج عن هذا غوصها في نسيج الفضاء السحيق بحيث لا يتمكن الضوء نفسه من الإفلات من جاذبيتها، لذلك سميت بالثقوب "السوداء".

شكل 3

إن وجود ثقبين أسودين يدوران حول بعضهما البعض سيحدث تموجات في الفضاء تسمى موجات الجاذبية. وتحمل هذه الموجات الطاقة بعيداً عن مدار الثقبين السوداء، مما يتسبب في اندماج الاثنين في النهاية. حقوق الصورة، LIGO/T. Pyle، <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20160615f>.



شكل 3

قياس أضخم الثقوب السوداء في الكون

في بعض الأحيان، يمكن أن تقترب الثقوب السوداء معًا وتدور حول بعضها البعض (انظر الشكل 3). عندما يقترب الثقبان الأسودان كثيرًا في مدارهما، يمكن أن ينبعث منهما موجات الجاذبية. عكف فريق من العلماء يسمى "نانوجراف" (NANOGrav) (اختصارًا لمرصد نانوهرتز لموجات الجاذبية في أمريكا الشمالية) [3] على البحث عن موجات الجاذبية المنبعثة من أزواج الثقوب السوداء الأكثر ضخامة في الكون. وقد يبلغ حجم هذه الثقوب السوداء الضخمة مليار مرة قدر حجم الشمس، وهي لا توجد إلا في مراكز المجرات العملاقة. وعلى مدار تاريخ الكون، اصطدمت المجرات ببعضها البعض، مكونة مجرات أكبر. وتقترب الثقوب السوداء في مراكز المجرات ببعضها البعض أثناء هذه التصادمات، وترسل موجات جاذبية لها فترة محددة (الفترة الزمنية بين كل ذروة موجة) تمتد من سنوات إلى عقود. ونظرًا لأن الثقوب السوداء لا تصدر أي ضوء، فإن الطريقة الوحيدة لاكتشافها هي باستخدام موجات الجاذبية. ويعد قياس موجات الجاذبية طريقة ثورية مبتكرة لرصد الكون؛ إذ إنها قادرة على إمدادنا بالمزيد من المعلومات عن الطبيعة الحقيقية للجاذبية.

مصفوفات توقيت النجوم النابضة

يبحث فريق "نانوجراف" عن موجات الجاذبية بواسطة ما يسمى **مصفوفة توقيت النجوم النابضة (PTA)** [4]. والنجم النابض هو نوع خاص من النجوم النيوترونية التي تدور بسرعة كبيرة (بسرعة مئات الدورات في الثانية)، وتطلق حزمًا من الموجات الراديوية (انظر الجانب الأيسر من الشكل 4). عندما يدور النجم النابض، فإنه يطلق شعاع موجة راديوية نحو الأرض، والتي نقيسها باعتبارها "نبضة" راديوية. وتكون مثل المنارة التي تضيء نورها دائمًا في الليل، لكننا لا نرى الضوء إلا عندما يتأرجح في اتجاهنا. والنجوم النابضة مصادر موثوقة؛ إذ يمكننا التنبؤ بدقة بموعد وصول النبضة الراديوية إلى الأرض. ويعني هذا أنه يمكننا استخدام النجوم النابضة باعتبارها ساعة مؤقتة، والتي من خلالها نحدد مرور الوقت بعدد النبضات الراديوية التي تم رصدها من النجم النابض. فالنجوم النابضة بمثابة ساعات مؤقتة رائعة تظل دقيقة وموثوقة على مدار سنوات عديدة.

إذا عبرت موجة الجاذبية الفضاء الواقع بين الأرض والنجم النابض، فإنها ستتمدد وتضغط على ذلك الفضاء. وإذا تمدد الفضاء، فسوف يستغرق الأمر وقتًا أطول من المتوقع لوصول شعاع الراديو إلينا؛ أي أن النبض سيصل متأخرًا! والعكس صحيح، لأنه إذا تم ضغط الفضاء، فستصل النبضة الراديوية في وقت أبكر من المتوقع. يمكننا طرح تنبؤاتنا حول موعد وصول النبضات الراديوية من الأرصاد

فريق نانوجراف (NANOGrav)

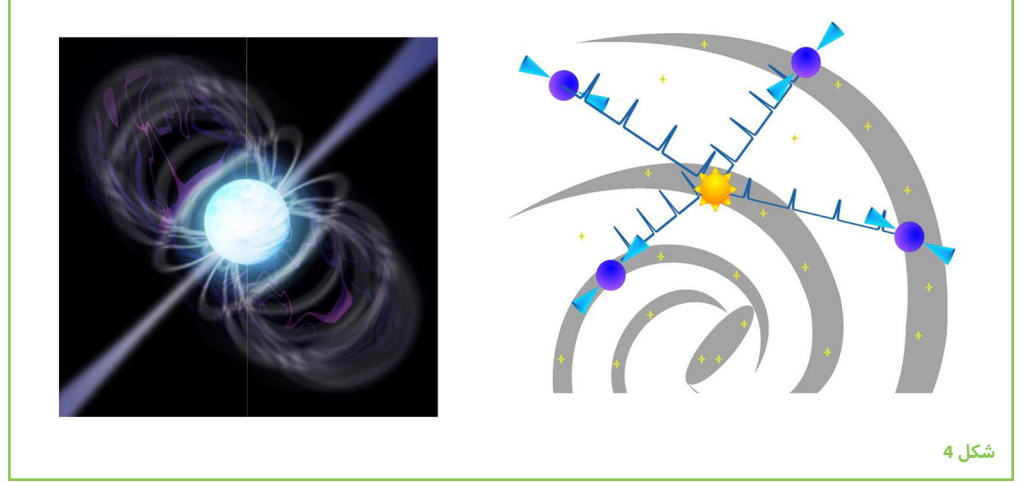
ترمز كلمة "نانوجراف" إلى مرصد نانوهرتز لموجات الجاذبية في أمريكا الشمالية. وهي عبارة عن مجموعة من العلماء في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا يبحثون عن موجات الجاذبية باستخدام مصفوفات توقيت النجوم النابضة (PTAs).

مصفوفة توقيت النجم النابض (PTA)

النجوم النابضة هي نوع خاص من النجوم النيوترونية الدوارة التي ترسل أشعة راديوية، وتُسبب موجات الجاذبية التي تصل إلى مجرتنا تغيرات في وقت وصول الأشعة الراديوية المرسل من النجوم النابضة. ونقوم بدراسة العديد من النجوم النابضة للتأكد من أن هذه التغييرات ناجمة عن موجات الجاذبية وليست ضوضاء.

شكل 4

النجوم النابضة (على اليسار) هي أنواع خاصة جدًا من النجوم النيوترونية التي تدور بسرعة تصل إلى مئات الدورات كل ثانية. تقوم هذه النجوم بإرسال أشعة راديوية بانتظام والتي يمكن قياسها على الأرض بدقة شديدة. من خلال مراقبة العديد من النجوم النابضة عبر مجرة درب التبانة (على اليمين)، يمكننا البحث عن أي تغييرات شائعة تطرأ على وقت وصول النبضات الراديوية. قد تكون هذه التغييرات ناتجة عن موجات الجاذبية التي تمر عبر درب التبانة. تُظهر الصورة على اليمين رسمًا توضيحيًا لأربعة نجوم نابضة في درب التبانة (مناطق رمادية بها نجوم صفراء) تبث الموجات الراديوية باتجاه نظامنا الشمسي. حقوق الصورة Tonia Klein/JeVrey Hazboun/The NANOGrav Physics Frontier Center.



شكل 4

الواقعية، ثم إلقاء نظرة على الاختلاف بين التنبؤ والحقيقة. قد يكون هذا الاختلاف بسبب موجات الجاذبية! يستخدم فريق "نانوجراف" (وفرق أخرى في أوروبا وأستراليا والهند وجنوب إفريقيا والصين) تليسكوبات راديوية لرصد الكثير من النجوم النابضة لإنشاء "شبكة" رصد كبيرة يمكنها التقاط موجات الجاذبية.

اكتشاف "نانوجراف" الجديد

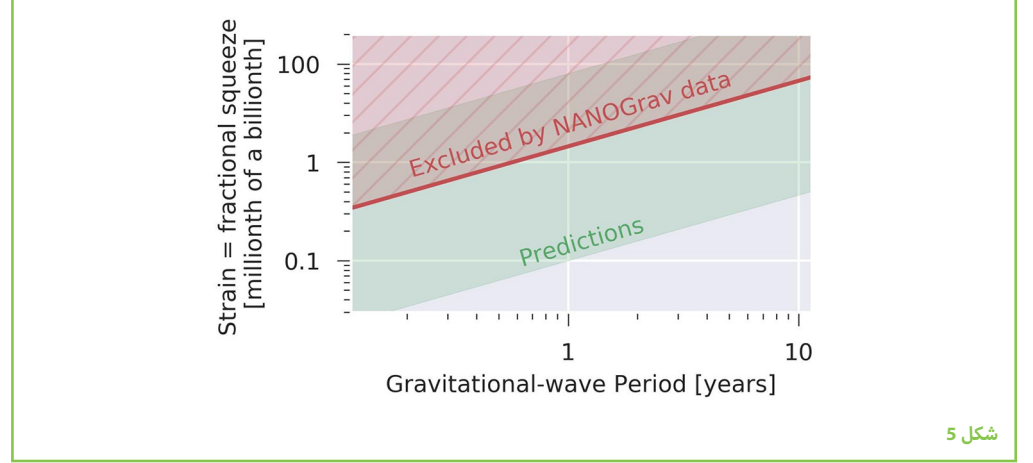
في أحدث عملية رصد لفريق "نانوجراف" [5]، تمكنا من إعداد شبكة من 34 نجماً نابضاً من هذه النجوم التي راقبها علماء الفلك كل أسبوعين على مدار الـ 11 عامًا الماضية. ولم نرصد أي موجات جاذبية، لكننا نعلم أيضًا أن إشاراتنا تستغرق وقتًا طويلاً لتبرز بوضوح من بين كل الضوضاء والأشياء الغريبة التي يمكن أن تؤثر على النجوم النابضة. على الرغم من أننا لم نكتشف أي شيء حتى الآن، فإننا نعتقد أن الأمر لن يستغرق سوى ثلاث سنوات أخرى، أو ربما سبع سنوات على الأكثر قبل أن نحقق ذلك [6]. قد لا نرى أي موجات حتى الآن، لكن غياب هذه الموجات سمح لنا بدحض التنبؤات التي قدمها علماء آخرون اعتقدوا أنه كان ينبغي علينا رؤية شيء ما الآن. ستساعد بياناتنا هؤلاء العلماء على مراجعة توقعاتهم وتحديثها. ويمكن أن تساعدنا النتائج التي حصلنا عليها أيضًا في فهم عدد المرات التي تقترب فيها الثقوب السوداء الضخمة معًا في الكون. علاوة على ذلك وجدنا أن موجات الجاذبية التي تبلغ مدتها عامًا واحدًا تتسبب في تمددات وانضغاطات في الفضاء متناهية الصغر لدرجة أن التغيير الذي تسببه في حجم الأرض يبلغ حوالي عشرة أمثال عرض جديلة الحمض النووي البشري (DNA) (انظر الشكل 5)!

المستقبل

نتوقع أن يكون مستقبل علم فلك موجات الجاذبية مشرقًا ومثيرًا للاهتمام؛ حيث نتوقع أن يُتاح لنا النظر في أجزاء من الكون لا يمكن أن نطلع عليها بالتليسكوبات الأخرى. كما نتنبأ أن يكون رصد موجات الجاذبية باستخدام مصفوفات توقيت النجوم النابضة في المستقبل اكتشافًا مذهلاً. وفي فريق "نانوجراف"، نتحقق من أنواع أخرى من موجات الجاذبية في شبكة النجوم النابضة وسنقدم تقريرًا عنها خلال العام المقبل. كما نبحث أيضًا باستمرار عن نجوم نابضة جديدة لكي تملأ الفراغات في شبكتنا، حتى نتمكن من رصد موجات الجاذبية بشكل أفضل. ولقد كانت نتائجنا

شكل 5

وضع فريق "نانوجراف" حدًا لحجم الانضغاط الجزئي الناتج عن موجات الجاذبية. تم استبعاد كل شيء في المنطقة الحمراء من خلال تحليلنا لبيانات جُمعت على مدار 11 عامًا عن توقيتات النجوم النابضة. تُظهر المنطقة الخضراء نطاق تنبؤات موجات الجاذبية التي قام بها علماء آخرون.



شكل 5

مذهلة حتى الآن، ونحن نستعد لليوم الذي نخرج فيه لنخبر العالم أننا عثرنا على موجات جاذبية من أكبر الثقوب السوداء في الكون بأسره، وسيكون هذا قريبًا جدًا!

مقال المصدر الأصلي

Arzoumanian, Z., Baker, P. T., Brazier, A., Burke-Spolaor, S., Chamberlin, S. J., Chatterjee, S., et al., The NANOGrav Collaboration. 2018. The NANOGrav 11 year data set: pulsar-timing constraints on the stochastic gravitational-wave background. *Astrophys. J.* 859:47. doi: 10.3847/1538-4357/aabd3b

التمويل

يتم تمويل ST من قبل NANOGrav Physics Frontier Center، المدعوم من NSF بموجب منحة رقم 143028. إن مرصد "جرين بانك" (Green Bank) هو منشأة تابعة لـ National Science Foundation تعمل بموجب اتفاقية تعاونية من قبل Associated Universities, Inc. ومرصد "أريسيبو" (Arecibo) هو منشأة تابعة لـ National Science Foundation تعمل بموجب اتفاقية تعاونية من قبل University of Central Florida بالتعاون مع Enterprises Yang Inc.، Universidad Metropolitana.

المراجع

1. LIGO. Available online at: <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-is-ligo>
2. Virgo. Available online at: <http://public.virgo-gw.eu/virgo-in-a-nutshell>
3. NANOGrav Website. Available online at: <http://nanograv.org>
4. Lommen, A. N. 2015. Pulsar timing arrays: the promise of gravitational wave detection. *Rep. Prog. Phys.* 78:124901. doi: 10.1088/0034-4885/78/12/124901
5. Arzoumanian, Z., Baker, P. T., Brazier, A., Burke-Spolaor, S., Chamberlin, S. J., Chatterjee, S., et al., The NANOGrav Collaboration. 2018. The NANOGrav 11 year data set: pulsar-timing constraints on the stochastic gravitational-wave background. *Astrophys. J.* 859:47. doi: 10.3847/1538-4357/aabd3b

6. Taylor, S. R., Vallisneri, M., Ellis, J. A., Mingarelli, C. M. F., Lazio, T. J. W., and van Haasteren, R. 2016. Are we there yet? Time to detection of nanohertz gravitational waves based on pulsar-timing array limits. *Astrophys. J. Lett.* 819:L6. doi: 10.3847/2041-8205/819/1/L6

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021

Joey Shapiro Key, University of Washington Bothell, United States

الاقتباس: Taylor SR (2021) رصد أمواج الجاذبية بشبكة كونية عملاقة من النجوم النابضة. *Front. Young Minds* doi: 10.3389/frm.2019.00080-ar

مُترجم ومقتبس من: Taylor SR (2019) Catching Gravitational Waves With a Galaxy-Sized Net of Pulsars. *Front. Young Minds* 7:80. doi: 10.3389/frm.2019.00080

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2019 © Taylor 2021. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية (Creative Commons Attribution License (CC BY)). يُسمح باستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيّدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

DUARTE HIGH SCHOOL، العمر: 15-18

نحن طلاب الفيزياء في المرحلة الثانية والثالثة من فصول Mr. Traeger's للفيزياء في مدرسة Duarte High School في دوارتي، كاليفورنيا. نحن مهتمون بتعزيز العلم من خلال عملية مراجعة الأقران.



LA CANADA HIGH SCHOOL، العمر: 16-18

نحن طلاب الفيزياء الجبرية في فصل Ms. Walsh للفيزياء في المرحلة 5 في La Canada High School في لا كانبادا، كاليفورنيا. نحن مهتمون بمعرفة المزيد عن العملية العلمية من خلال مراجعة الأقران.



المؤلف

STEPHEN R. TAYLOR

أعمل حاليًا زميل أبحاث في مرحلة ما بعد الدكتوراة في California Institute of Technology، وعالم زائر في NASA's Jet Propulsion Laboratory، واعتبارًا من خريف 2019 أصبحت أستاذًا مساعدًا في Vanderbilt University. أنا عالم فيزياء فلكية، أدرس ما يمكننا تعلمه عن الكون من



خلال اكتشاف موجات الجاذبية. تأتي هذه الموجات من اصطدام الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية في جميع أنحاء الكون، وتعطينا معلومات مختلفة عما نقيسه بالتلسكوبات. في أوقات فراغي، أحب القراءة والتنزه ومشاهدة الأفلام وقضاء الوقت مع العائلة. *srtaylor@caltech.edu

جامعة الملك عبد الله
للعلوم والتقنية
King Abdullah University of
Science and Technology



النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by