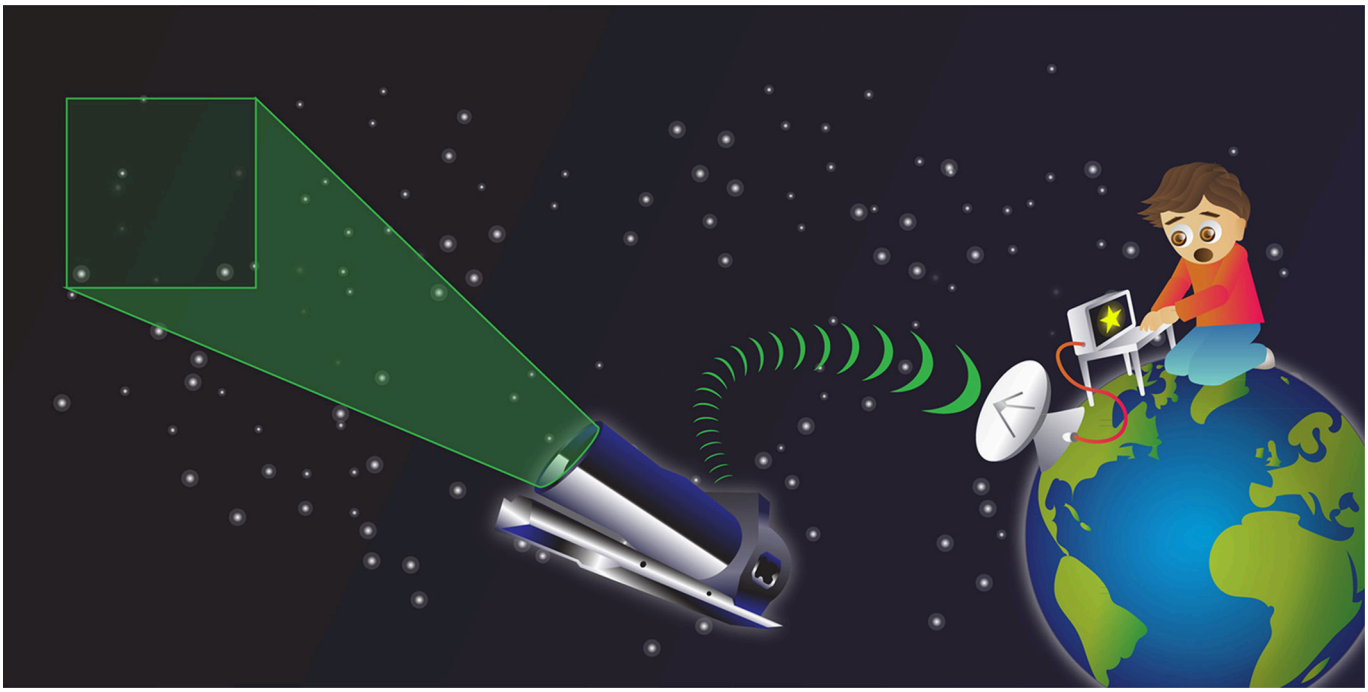
علم الفلك وعلم الفضاء
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 أغسطس 2021
doi: 10.3389/frym.2015.00016-ar



ما علاقة "الكرات الصفراء" بميلاد النجوم الجديدة؟

Grace Wolf-Chase [1] ***and Charles Kerton*** [2]
[1] *The Adler Planetarium, Chicago, IL, USA*
[2] *Department of Physics and Astronomy, Iowa State University, Ames, IA, USA*

من أين تأتي النجوم؟ لقد فكر البشر في هذا السؤال لآلاف السنين واقترحوا له العديد من التفسيرات المختلفة، ولكن العلماء لم يكن لديهم سوى التكنولوجيا لمراقبة الأماكن التي تتشكل فيها النجوم لعدة عقود من الزمان. ويرجع هذا إلى أن النجوم تتشكل داخل سحب باردة "غبارية" في الفضاء غير مرئية لأعيننا وغير مرئية كذلك للتليسكوبات التي تدرس الضوء المرئي. لحسن الحظ، لدينا اليوم العديد من الأدوات التي يمكنها تسجيل الضوء الذي لا تستطيع أعيننا رؤيته، ويمكننا استخدام الألوان المألوفة لتمثيل هذا الضوء. حتى الأجسام شديدة البرودة تنبعث منها أشعة تحت حمراء، لذا يمكننا استخدام هذا النوع من الضوء لاستكشاف كيفية تكوين الغيوم الغبارية للنجوم. هذا وقد ساعد الناس من جميع أنحاء العالم العلماء على تحديد مرحلة مبكرة من تطور النجوم، تُسمى "الكرات الصفراء"، وذلك من خلال البحث عن صور الأشعة تحت الحمراء في مشروع علمي مهم يُسمى مشروع درب التبانة.

المراجعون الصغار:

FRIDA
العمر:16

TAYLOR
العمر:16

العلم للجميع

تولد العلوم الحديثة الكثير من البيانات. وفي بعض الأحيان قد يكون من الصعب على عالِم واحد أو حتى مجموعة صغيرة من العلماء التعامل مع كمية البيانات الناتجة عن مشروع علمي معين في فترة زمنية معقولة. وفي هذه الحالات، يمكن للعلماء المحترفين أحيانًا طلب المساعدة من "العلماء المواطنين" (أو الباحثين المدنيين) المتحمسين. فالعالِم المواطن (أو الباحث المدني) هو أي شخص يعمل في مشروع علمي حقيقي، صممه فريق من العلماء المحترفين الذين يحتاجون إلى عيون بشرية كثيرة للرصد والمراقبة (أو في بعض الحالات، آذان مصغية لتقديم الآراء والملاحظات) من أجل تحقيق أهداف المشروع. يضم موقع Zooniverse الإلكتروني [1] في الوقت الحالي أكثر من 36 مشروعًا علميًا يشارك فيها أكثر من 1.3 مليون عالم مواطن، بما في ذلك مشروع درب التبانة، حيث يساعد العلماء المواطنون في دراسة تكوّن النجوم في مجرتنا.

مجرتنا الأم

تنتمي الشمس إلى مجموعة كبيرة للغاية من النجوم نسميها مجرة درب التبانة. ومجرة درب التبانة مسطحة إلى حد كبير، مثل القرص الضخم. إذا سبق لك أن نظرت إلى النجوم من مكان مظلم للغاية، فربما تكون قد لاحظت خطًا ساطعًا من الضوء يمتد عبر السماء (أنظر الشكل 1). يتألف هذا الخط من الضوء من العديد من النجوم الموجودة في قرص مجرة درب التبانة. معظم هذه النجوم باهتة للغاية بحيث لا يمكن للعين البشرية المجردة رؤيتها منفردة. من أحلك المواقع على الأرض، قد تتمكن من رؤية بضعة آلاف من النجوم، أو ربما بضع مئات من مدينة صغيرة، على سبيل المثال، أما من مدينة كبيرة، فربما لا يزيد ما تراه عن بضع عشرات من النجوم. في واقع الأمر، هناك بضع مئات من مليارات النجوم في مجرتنا (مائة مليار = 100,000,000,000)، لكنك لن ترى إلا الضوء المنبعث من جزء صغير من هذه النجوم حتى لو استخدمت أقوى تليسكوب! وذلك لأن **الوسط بين النجمي**، أو المسافة بين النجوم، يحتوي على سحب هائلة من الغاز والغبار، تُسمى السَدِيْم. تحجب أبرد وأكثف الأجزاء من هذا السَدِيْم الضوء المنبعث من النجوم داخل هذه الغيوم وخلفها.

الوسط بين النجمي (INTERSTELLAR MEDIUM)

انتشار الغبار والغاز الموجودين بين النجوم في المجرة. المناطق الأكثر برودة وكثافة في الوسط بين النجمي هي المكان الذي يمكن أن تتشكل فيه النجوم. هذه المناطق معتمة بالنسبة للضوء المرئي، وبالتالي تظهر في شكل بقع داكنة في الصور البصرية لمجرتنا.

الأماكن الخفية لنشأة النجوم

تتكوّن النجوم في المناطق الأكثر كثافة وغبارًا في الوسط بين النجمي، حيث يستحيل دراسة النجوم باستخدام تليسكوب عادي. من حسن الحظ أن علماء الفلك قد طوروا على مدى العقود القليلة الماضية تليسكوبات وأجهزة كشف حساسة **لضوء الأشعة تحت الحمراء** الخفي، وهو نوع من الضوء يمكن أن يمر عبر مناطق الغبار في الوسط بين النجمي. تسمح لهم هذه الأدوات باكتشاف الأجسام الباردة والنظر داخل السَدِيْم لدراسة كيفية تكوّن النجوم. في البداية، يكون النجم المشكل حديثًا باردًا للغاية بحيث لا يمكن أن يتألق في الضوء المرئي، لكنه يتألف بشكل ساطع في ضوء الأشعة تحت الحمراء. عندما يتشكل النجم، يسخن ويبدأ في التألق أكثر فأكثر في الضوء المرئي. لسوء الحظ، يمتص الغبار الموجود في السَدِيْم المحيط هذا الضوء المرئي المنبعث من النجم ولا يخرجه أبدًا من السحابة. ومع ذلك، يمكن لضوء الأشعة تحت الحمراء الصادر من النجم أن يمر عبر السحابة، بالإضافة إلى أن الغبار المحيط يسخن بفعل ضوء النجوم ويصبح أيضًا ساطعًا للغاية في ضوء الأشعة تحت الحمراء. وبالتالي، يمكن لعلماء الفلك استخدام ضوء الأشعة تحت الحمراء لدراسة تشكل النجم وما يحيط به على حد سواء [2].

ضوء الأشعة تحت الحمراء (INFRARED LIGHT)

نوع من الضوء له طول موجي أطول من الضوء المرئي. يعني الطول الموجي الأطول لضوء الأشعة تحت الحمراء أنه يمكنه المرور عبر المناطق الغبارية في الوسط بين النجمي بسهولة أكبر من الضوء المرئي.

يعرض الشكل 2 صورة بالأشعة تحت الحمراء لجزء من مجرتنا. عندما تنظر إلى الصورة، قد تتساءل في نفسك كيف نصنع صورة لضوء لا يمكننا رؤيته بأعيننا. تتلخص "الحيلة" في استخدام برنامج كمبيوتر قوي لتحويل ألوان الأشعة تحت الحمراء التي لا نستطيع أن نراها إلى ألوان من الضوء المرئي (الأزرق والأخضر والأحمر غالبًا). تقدم لنا ألوان الضوء المختلفة معلومات حول تكوين أنواع مختلفة من الأجسام (المكونات المصنوعة منها) والظروف المادية (على سبيل المثال، درجة الحرارة). في صورة الأشعة تحت الحمراء المعروضة في الشكل 2، كل نقطة زرقاء تمثل نجمًا، بينما تظهر أنواع معينة من جزيئات الغاز والغبار التي تشكل السَدِيْم باللونين الأخضر والأحمر. عندما يتداخل اثنان أو أكثر من هذه الألوان في الصورة، تحصل على لون مختلف. على سبيل المثال، الأخضر + الأحمر ينتج عنهما الأصفر (انظر في الشكل 2).

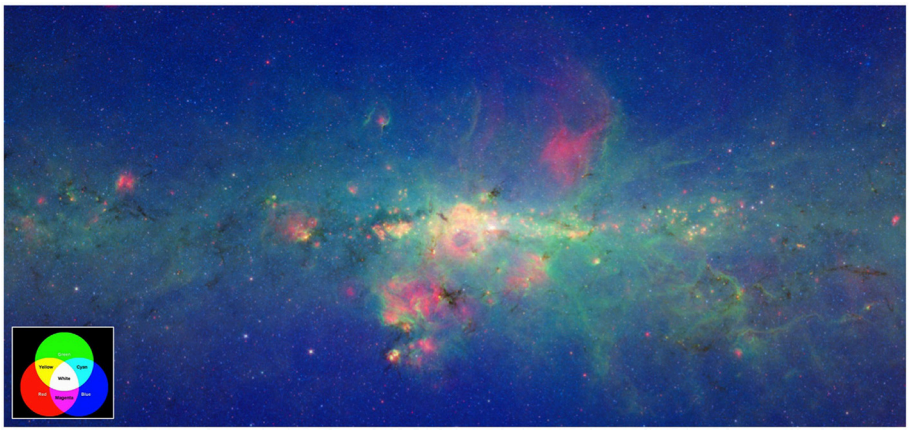
يتميز مشروع درب التبانة بصور الأشعة تحت الحمراء التي تم التقاطها بواسطة **تليسكوب سبيتزر الفضائي**. لقد أُنشيء المشروع لأن العلماء يحتاجون إلى المساعدة في فهرسة ودراسة المعلومات

تليسكوب سبيتزر الفضائي (SPITZER SPACE TELESCOPE)

قريب أصغر لتليسكوب هابل الفضائي. سبيتزر عبارة عن تليسكوب بقطر 0.85 م بالإضافة إلى أجهزة مصممة لمراقبة ضوء الأشعة تحت الحمراء، وقد أطلقته ناسا في عام 2003 في مدار أرضي حول الشمس.

شكل 1

مجرة درب التبانة. التقط عالم الفلك José Francisco Salgado هذه الصورة لمركز مجرتنا في سيدار فلات، بولاية كاليفورنيا، في 20 مايو 2010. وفي الأسفل تظهر مصفوفة البحث المجمعة في جهاز الموجات المليمترية الفلكي المكون من 23 تليسكوبا راديويًا. حقوق الصورة: Adler Planetarium, Chicago, IL, USA and José Francisco Salgado.



شكل 2

مشهد بالأشعة تحت الحمراء لمجرة درب التبانة. تستخدم هذه الصورة لجزء من مجرة درب التبانة باتجاه مركز مجرتنا الألوان الأزرق والأخضر والأحمر لتمثيل ألوان مختلفة من ضوء الأشعة تحت الحمراء الملتقطة بواسطة تليسكوب سبيتزر الفضائي. تتشكل الألوان الأخرى حيثما يتداخل أي من هذه الألوان الثلاثة (انظر الشكل الداخلي). حقوق الصورة: NASA/JPL-Caltech/ Univ. of Wisconsin.

التي كشفت عنها مئات الآلاف من صور الأشعة تحت الحمراء لمجرة درب التبانة التي قدمها لنا تليسكوب سبيتزر الفضائي. يقوم العلماء المواطنون بفحص الصور مثل تلك التي تم تجميعها لإنتاج الشكل 2 لمساعدة العلماء المحترفين في معرفة المزيد حول كيفية تكوين النجوم.

اكتشاف مذهل...

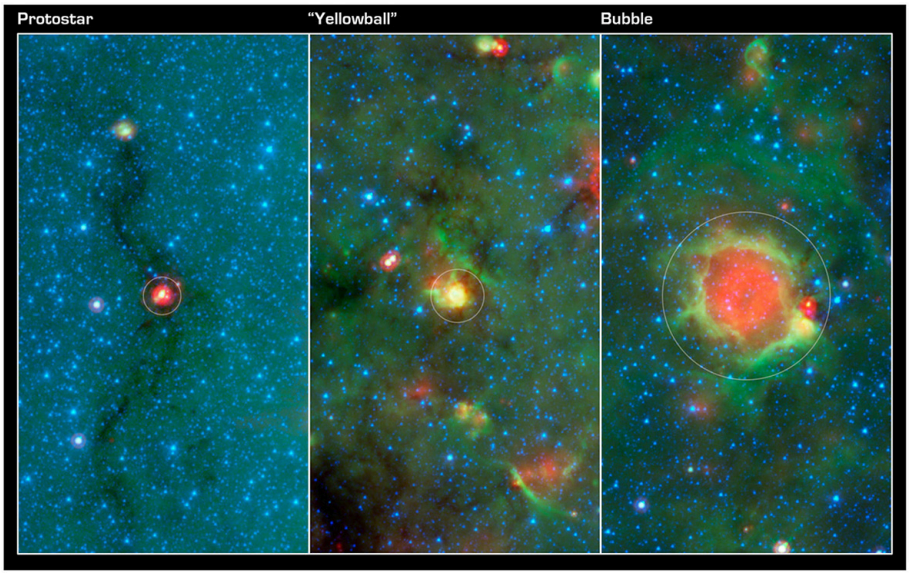
تشبه بعض العلامات المميزة التي طلبنا من الأشخاص مساعدتنا في العثور عليها في هذه الصور الدوائر الحمراء (أو البيضاوية) ذات الحواف الخضراء؛ مثل تلك التي يمكنك رؤيتها في اللوحة اليمنى من الشكل 3 [3]. يمثل اللون الأحمر في الأساس جسيمات الغبار الصغيرة للغاية ويمثل اللون الأخضر أساسًا جزيئات الغاز الدافئة التي تتكون من العديد من ذرات الهيدروجين والكربون. تمامًا كما تبدو الكرة مسطحة في صورة ثنائية الأبعاد، تبدو هذه العلامات الحمراء والخضراء مثل الدوائر في الصور التي يفحصها العلماء المواطنون. ولكن في الفضاء تشبه هذه الدوائر في الواقع "الفقاعات"، نظرًا لأن الفضاء ثلاثي الأبعاد.

تُنتج النجوم الحديثة الضخمة (والمقصود "بالضخامة" أن كتلتها أكبر من كتلة شمسنا بعشرة مرات على الأقل) هذه الفقاعات نتيجة تدافع الإشعاع و"الرياح" من النجوم نحو السَدِيْم المحيط بها. ومن الجدير بالذكر أن الرياح القادمة من نجم ما ليست كالرياح الحقيقية التي نراها هنا على وجه الأرض، بل هي عبارة عن تيارات من جسيمات صغيرة مشحونة مثل البروتونات والإلكترونات التي تشكل **الرياح الشمسية**. تُسخّن النجوم الحديثة الغاز داخل فقاعة إلى درجات حرارة مرتفعة للغاية، بحيث يتم تدمير الجزيئات، على الرغم من بقاء بعض جسيمات الغبار. لهذا السبب، في الصور، تكون الأجزاء الداخلية للفقاعات حمراء، أما الحواف، حيث تبقى الجزيئات، فتكون خضراء.

بينما كان العلماء المواطنون في مشروع درب التبانة يفحصون الصور بحثًا عن الفقاعات، لاحظوا أجسامًا صفراء صغيرة مستديرة في العديد من الصور وبدأوا في التساؤل عن ماهية هذه الأجسام.

الرياح الشمسية (SOLAR WIND)

التدفق ذو المغنطة الشديدة من الجسيمات المشحونة، بشكل أساسي البروتونات والإلكترونات، المتدفقة من الشمس. تتحرك الرياح الشمسية بسرعات تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات/الثانية.



شكل 3

تطور الفقاعة. هذه سلسلة من الصور التي توضح مراحل تطور فقاعة تدور حول نجوم حديثة ضخمة، وتظهر في اللوحة الوسطى مرحلة "الكرة الصفراء"، التي حددها العلماء المواطنون. حقوق الصورة: NASA/JPL-Caltech.

طلبنا من العلماء المواطنين أن يستمروا في وضع العلامات حول هذه الأجسام في الصور حتى نتمكن من دراستها بشكل أكبر. وبما أن اللون الأصفر يظهر عندما يتداخل اللونان الأحمر والأخضر في هذه الصور، فقد افترضنا أن ''الكرات الصفراء''، كما نسميها، قد تكون نسخًا حديثة للغاية من الفقاعات الأكبر حجمًا، حيث لم يتم تدمير أغلب جزيئات الغاز القريبة من النجوم الصغيرة بعد [4].

أول لوحتين من الشكل 3 تعرضان المراحل المبكرة في تطور الفقاعة. المشهد الطويل المظلم في اللوحة اليسرى عبارة عن سَدِيْم شديد البرودة للغاية بحيث لا يمكن اكتشافه بواسطة تليسكوب الأشعة تحت الحمراء. في بعض الأجزاء من هذا السَدِيْم البارد للغاية، تكون الجاذبية قوية بما يكفي لسحب الغاز البارد والغبار معًا لتكوين نجوم جديدة. توضح ''النقطة'' الحمراء التي يمكنك رؤيتها في السَدِيْم المظلم المكان الذي بدأت فيه النجوم الأولية في إحماء الغبار. **النجم الأولي** يشبه نجمًا وليدًا -- فهو ما يزال ينمو حيث يتم سحب المادة المحيطة معًا بفعل الجاذبية؛ وتستمر مرحلة ''النجم الوليد'' هذه نحو عشرة آلاف عام. بمجرد أن تصبح النجوم الأولية ساخنة بدرجة كافية، تبدأ المادة المحيطة بها في التمدد وتتوهج جزيئات الغبار والغاز في ضوء الأشعة تحت الحمراء، مما يؤدي إلى تكوين كرة صفراء (لوحة مركزية) يبلغ عمرها حوالي 100,000 عام. معظم الكرات الصفراء أكبر من نظامنا الشمسي، لكنها أصغر من المسافة بين شمسنا والنجم الأقرب التالي، بروكسيما سنتوري (القنطور الأقرب)، ومع ذلك قد تُنتج كل كرة صفراء عشرات أو ربما مئات النجوم.

النجم الأولي (PROTOSTAR)

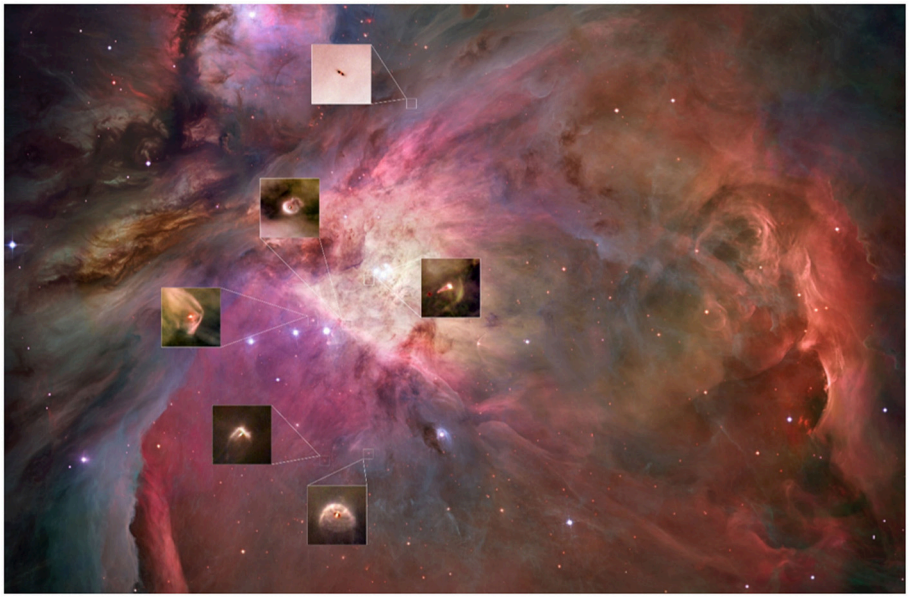
تركيز كروي كبير من الغاز والغبار ما يزال في طور الانكماش لتشكيل نجم. قلب النجم الأولي ليس ساخنًا وكثيفًا بما يكفي لتزويده بالطاقة من تفاعلات الاندماج النووي. بمجرد أن يحدث ذلك، يبدأ الاندماج ويصبح النجم الأولي نجما ناضجًا.

على مدى 1,000,000 عام تقريبًا، تتحول الكرة الصفراء إلى فقاعة ناضجة على النحو المعروض في اللوحة اليمنى من الشكل 3. وبعد بضعة ملايين من السنين، ستنتشر الفقاعة نفسها في الوسط بين النجمي، تاركة وراءها النجوم المتكونة حديثًا والتي بدورها ستصبح جزءاً من قرص مجرة درب التبانة.

مئات النجوم

يعتبر سَدِيْم الأوريون أو سَدِيْم الجبار (Orion) مثالًا على ما قد تبدو عليه الفقاعة بعد بضعة ملايين من السنين. هذه الفقاعة المفضلة لدى علماء الفلك المحترفين والهواة على حد سواء لأنها ساخنة بدرجة كافية للتوهج في الضوء المرئي، وهو أقرب مثال على تكوين النجوم الضخمة في المجرة. ربما شاهدت هذا السَدِيْم من خلال تليسكوب صغير أو منظار خلال مساء إحدى الليالي المليئة بالنجوم؟ بينما لا يضم السَدِيْم سوى عدد قليل من النجوم الضخمة، توجد أيضًا مئات من النجوم الأصغر مثل الشمس، مكتملة بأقراص باردة من المواد التي ربما تتشكل فيها الكواكب، وذلك في السَدِيْم جنبًا إلى جنب مع النجوم الأكثر ضخامة. يظهر الشكل 4 مشهدًا لسَدِيْم الأوريون أو سَدِيْم الجبار التقطه تليسكوب هابل الفضائي [5]. ويتضمن المشهد صورًا مكبرة للأنظمة الكوكبية التي تتشكل حاليًا في السَدِيْم.

ثمة أسباب وجيهة للاعتقاد بأن نظامنا الشمسي تشكل في بيئة مشابهة لسَدِيْم الجبار قبل حوالي خمسة مليارات سنة، لذا فإن التعرف على كيفية تطور الفقاعات سيساعدنا في فهم الظروف التي ربما كانت عليها المجرة عندما تشكلت الأرض.



شكل 4

شكل 4

أنظمة كوكبية تتكون الآن في سَدِيْم الأوريون أو سَدِيْم الجبار (Orion). هذه صورة ضوئية مرئية لسَدِيْم الجبار، تم تجميعها بواسطة تليسكوب هابل الفضائي. تعرض كل صورة من الصور المكبرة/المصغرة نظامًا كوكبيًا يتم تكوينه في السَدِيْم. الصورة المكبرة العلوية هي تقريبًا بحجم نظامنا الشمسي (حوالي ستة مليارات ميل). حجم السَدِيْم بأكمله يمتد على عدة سنوات ضوئية (1 سنة ضوئية حوالي ستة تريليون ميل: 6,000,000,000,000) و على بُعد حوالى 1,500 سنة ضوئية من الشمس حقوق الصورة: NASA, ESA, M. Robberto (STScI/ESA), the HST Orion Treasury Project Team, & L. Ricci (ESO).

"لقد وجدتها"... أم "هذا ممتع"؟

كان مفتاح تحديد المراحل الأولى في نشأة مجموعات النجوم هو إيجاد أفضل مزيج من ألوان الأشعة تحت الحمراء لتسليط الضوء على الخواص المميزة المهمة. باستخدام مجموعة مختلفة من ألوان الأشعة تحت الحمراء، لن تظهر الكرات الصفراء. من الناحية المثالية، يرغب علماء الفلك في النظر إلى أكبر عدد ممكن من ألوان الضوء المختلفة، ولكن الحقيقة هي أنهم لا يستطيعون تصميم أدوات تقوم بكل شيء. فقبل تصميم أدوات ومعدات فلكية، يحتاج العلماء إلى التفكير في أنواع الأرصاد التي ستؤدي إلى أكبر قدر من المعلومات حول الأجسام التي يحاولون فهمها. تم اختيار ألوان الأشعة تحت الحمراء في تليسكوب سبيتزر الفضائي لتقصي علامات مميزة مثل الفقاعات، ولكننا لم نكن نعرف إلى أي مدى ستبرز هذه الألوان المرحلة الأصغر من الكرة الصفراء!

كان Isaac Asimov، كاتب خيال علمي شهيرًا في القرن العشرين، وقد قال ذات مرة: "إن العبارة الأكثر إثارة التي نسمعها في العلم، تزامنًا مع بوادر اكتشافات جديدة، هي ليست "وجدتها!" بل "هذا ممتع". الآن، بفضل حب الاستطلاع لدى العلماء المواطنين، بما في ذلك الشخص الأول الذي اعتقد أن "هذا ممتع" وشارك الآخرين هذه الفكرة حول الكرة الصفراء، لدينا قائمة تضم حوالي 1,000 من هذه الأجسام. باستخدام هذه القائمة الجديدة، يمكن لعلماء الفلك وضع ملاحظات مستقبلية تخبرهم بالمزيد عن كيفية تطور الكرات الصفراء إلى مزارع نجمية قد تولد كواكب أخرى مثل كوكبنا الأرض.

المراجع

1. Zooniverse. 2015. Available at: http://www.zooniverse.org/
2. Cool Cosmos. 2015. Available at: http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/
3. Simpson, R. J., Povich, M. S., Kendrew, S., Lintott, C. J., Bressert, E., Arvidsson, K., et al. 2012. The milky way project first data release: a bubblier galactic disk. *Mon.*

Not. R. Astron. Soc. 424:2442–60. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.20770.x

4. Kerton, C. R., Wolf-Chase, G., Arvidsson, K., Lintott, C. J., and Simpson, R. J. 2015. The milky way project: what are yellowballs? *Astrophys. J.* 799:153–61. doi: 10.1088/0004-637X/799/2/153
5. O'Dell, C. R., Wen, Z., and Hu, X. 1993. Discovery of new objects in the Orion nebula on HST images – shocks, compact sources, and protoplanetary disks. *Astrophys. J.* 410:696–700. doi: 10.1086/172786

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 أغسطس 2021

حرره: Shane L Larson, Northwestern University, United States

الاقتباس: Wolf-Chase G and Kerton C (2021) ما علاقة "الكرات الصفراء" بميلاد النجوم الجديدة؟ Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2015.00016-ar

مُترجَم ومقتبس من: Wolf-Chase G and Kerton C (2015) What do "yellowballs" have to do with the birth of new stars? Front. Young Minds 3:16. doi: 10.3389/frym.2015.00016

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 © 2015 © 2021 Wolf-Chase and Kerton.

هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا 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

FRIDA، العمر: 16

مرحبًا! أنا Frida فنّانة ومتدربة في Adler Planetarium في شيكاغو.

TAYLOR، العمر: 16

أنا Taylor متدرب في برنامج العلماء المواطنون في Adler Planetarium. سأكون طالبًا بالصف قبل الأخير في Lane Tech College Prep.

المؤلفون

GRACE WOLF-CHASE

كانت أكبر اهتماماتي في سن الطفولة هي علم الفلك والتزلج على الجليد. لعبت زيارة المتاحف دورًا

كبيرًا في إثارة مخيلتي وإلهام أفكاري حول الفضاء، لذلك أحب أن أكون عالمة فلك في Adler Planetarium. إنني مفتونة بالأسئلة المتعلقة بكيفية تشكل النجوم والكواكب، وما يمكن أن تخبرنا به عن كيفية تشكل عالمنا. دائمًا أعتبر قدرتي على مشاركة حماسي للعلوم مع الآخرين، بمن فيهم أطفالي الثلاثة، أحد أفضل جوانب وظيفتي. على الرغم من أنني لا أتزلج حاليًا بالقدر الذي اعتدت عليه، فإنني أستمتع بالسباحة أو ممارسة الرياضة كل صباح.

CHARLES KERTON

أنا مدرّس وباحث في قسم الفيزياء وعلم الفلك في جامعة Iowa State University. بدأ حبي لعلم الفلك بمشاهدة كوكب زحل والقمر وسَدِيْم الأوريون أو سَدِيْم الجبار (Orion) من خلال تليسكوب صغير "متعدد الأقسام" بقطر 60 ملم في سن مبكرة، ولم أتوقف عن الاستمتاع بشغفي في علم الفلك منذ ذلك الحين. بعيدًا عن التليسكوب والكمبيوتر فأنا أستمتع بالعناية بالحدائق والسير لمسافات طويلة (في الصيف)، والتزلج على الجليد (في الشتاء)، وقراءة الخيال العلمي والتاريخ (طوال العام).

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology