علم الفلك وعلم الفضاء
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 أغسطس 2021
doi: 10.3389/frym.2017.00029-ar

الاستعانة بالتدفقات النجميّة الساطعة لكشف أسرار المادة المظلمة

Wayne Ngan *
Department of Astronomy and Astrophysics, University of Toronto, Toronto, ON, Canada

المقصود بالمادة هو جميع "الأشياء" التي يتألف منها الكون. فالمادة العادية، مثل الذرات، تشكل 15% فقط تقريبًا من كل المادة الموجودة في هذا الكون. أما النسبة الأخرى المتبقية التي تبلغ 85% فهي تسمى "المادة المظلمة"، وهي غير مرئية لكنها مهمة بما يكفي لإبقاء مجرتنا، مجرة درب التبانة، متماسكة كي لا تتفكك. ما المادة المظلمة؟ على مدى عقود من الزمان، كان علماء الفلك يتأملون في الأفكار والنظريات ويحاولون اختبار هذه الأفكار من خلال المشاهدة والملاحظات. وقد حققت إحدى النظريات الشائعة التي تسمى "المادة المظلمة الباردة (CDM)" نجاحًا واسعًا في تفسير المادة المظلمة في الكون ككل، لكنها ما تزال بحاجة إلى الاختبار داخل مجرتنا. في هذه الدراسة، نعرض كيف يمكن أن تساعدنا تقنية المحاكاة الحاسوبية في استخدام تدفقات النجوم في المجرة لتحديد ما إذا كانت نظرية المادة المظلمة الباردة هي النظرية الصحيحة لتفسير المادة المظلمة، أم لا.

المراجعون الصغار:

INDEPENDENT ELEMENTARY SCHOOL
الأعمار:10-11

1. ماهية المواد الموجودة في الكون

منذ أوائل عشرينيات القرن الماضي، عرف علماء الفلك أن مجرتنا، درب التبانة، تتكون في معظمها من النجوم التي تبقى مترابطة بفعل الجاذبية. عندما تنظر إلى المجرات، في صورة فوتوغرافية أو عبر

تليسكوب، فإنك تنظر إلى ضوء هذه النجوم. في سبعينيات القرن الماضي، وبينما كان علماء الفلك يدرسون بتمعن حركات النجوم في مجرة درب التبانة، أدركوا أن النجوم تتحرك بسرعة كبيرة؛ والواقع أن النجوم تتحرك بسرعة كافية حتى أنها كان من المفترض أن تفلت من قبضة مجرتنا قبل وقت طويل. هذا يعني أنه إذا كانت مجرة درب التبانة تتكون فقط من النجوم التي يمكننا رؤيتها، فمن المفترض أن تكون قد تفككت بحلول وقتنا الحالي!

لذلك، يجب أن تحتوي مجرة درب التبانة على شيء لا يمكننا رؤيته، ولكنه شيء مهم بما يكفي لاحتواء النجوم داخل هذه المجرة. تُعرف هذه المادة غير المرئية الآن باسم المادة المظلمة. لقد كانت هذه المادة المظلمة، وما تزال، لغزًا محيرًا للعلماء على مدى عقود من الزمان. ولكي نفهم السبب وراء حيرة العلماء الشديدة حول هذه المادة، فلنقارنها بالمادة ''العادية'' التي نفهمها. كل شيء نراه ونلمسه يوميًا مكون من ذرات العناصر الموجودة في الجدول الدوري. حتى النجوم التي نراها تتكون من الهيدروجين، والهليوم، وبضعة عناصر أخرى. من واقع حياتنا اليومية، نعرف أن المادة العادية إما أن تُصدر الضوء من تلقاء نفسها (مثل النجوم، والمصابيح، إلخ) أو تعكس الضوء الساقط عليها (مثل الجدران، والأشجار، إلخ)، كما يمكن أن تحجب المادة العادية الضوء وبذلك تظهر الظلال. لكن لا تظهر المادة المظلمة أيًا من هذه السلوكيات؛ فهي لا تُصدر أي ضوء أو تعكس ضوءًا ساقطًا عليها أو تحجبه (لذلك فهي ليست ''معتمة'' ولكنها ``غير مرئية''). الطريقة الوحيدة لمعرفة وجود مادة مظلمة تكون من خلال جاذبيتها، وهذه الجاذبية هي التي تحبس النجوم في مجرة درب التبانة، حتى لا تهرب إلى باقي الكون.

ولعل اللغز الأكبر هنا هو أن الأمر لا يقتصر فقط على أجزاء صغيرة من المادة المظلمة التي نستطيع أن نتجاهلها متناثرة هنا وهناك. فعلى مدار الثلاثين عامًا الماضية أو نحو ذلك، أظهرت الأرصاد العلمية أن الكون بأكمله مليء بالمادة المظلمة. والواقع أن حوالي 15% فقط من كل المادة في الكون عبارة مادة عادية، أما نسبة الـ 85% الأخرى فهي مادة مظلمة [1]. إذن، فإن الكون مليء في الغالب بنوع لا نفهمه من المادة! تعد المادة المظلمة واحدة من أكبر موضوعات البحث في علم الفلك في زمننا الحالي. وربما يستحق الجواب على سؤال ''ما المادة المظلمة؟'' جائزة نوبل!

2. السعي لفهم المادة المظلمة

تتمثل إحدى الخطوات الأولى للطريقة العلمية في وضع **فرضية**، أو مجرد تخمين أو تنبؤ مدروس حول كيفية حدوث شيء ما والسبب في ذلك. ولابد من اختبار التنبؤ من خلال التجربة أو الملاحظة لمعرفة ما إذا كان التخمين صحيحًا أم خاطئًا. على سبيل المثال، هناك فرضية شهيرة مفادها أن السرعة التي يسقط بها جسم ما على الأرض لا تعتمد على كتلة ذلك الجسم. تتنبأ هذه الفرضية بأنه إذا أُلقيت مطرقة وريشة من نفس الارتفاع في نفس الوقت في الفراغ (بدون مقاومة الهواء)، فيجب أن تصطدما بالأرض في نفس الوقت. لاختبار هذه الفرضية، حاول رائد فضاء بالفعل إسقاط مطرقة وريشة أثناء وقوفه على القمر[1] (الذي يخلوا من هواء)، وأفاد أن المطرقة والريشة سقطتا على الأرض حقًا في نفس الوقت. وكان هذا دليلًا على صحة تلك الفرضية.

على الرغم من أن علماء الفلك لا يفهمون بالضبط ماهية المادة المظلمة، فقد كان لديهم على مر السنين الكثير من الأفكار. وتُسمى إحدى النظريات الشائعة ''**المادة المظلمة الباردة (CDM)**''. فهي ليست ''باردة'' لأنك قد تشعر بالبرد عند لمسها، بل ``باردة'' تعني أن المادة المظلمة تتكون من جسيمات لا تتحرك بسرعة كبيرة. ولنظرية المادة المظلمة الباردة فرضية تتنبأ بأن مجموعات المجرات تميل إلى ترتيب نفسها في هياكل منظمة. بعد قضاء سنوات في مراقبة المجرات،

فرضية (HYPOTHESIS)

تخمين مدروس يساعد على التنبؤ. ولابد من اختبار هذا التنبؤ لمعرفة ما إذا كان التخمين صحيحًا أم خاطئًا.

[1] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html

المادة المظلمة الباردة (COLD DARK MATTER (CDM))

نظرية مفادها أن المادة المظلمة تتكون من جسيمات بطيئة الحركة. وتركز الكثير من الأبحاث اليوم على اختبار الفرضية التي تقوم عليها هذه النظرية.

وجد علماء الفلك أن مجموعات المجرات مرتبة تقريبًا بالطريقة نفسها التي تتنبأ بها نظرية المادة المظلمة الباردة!

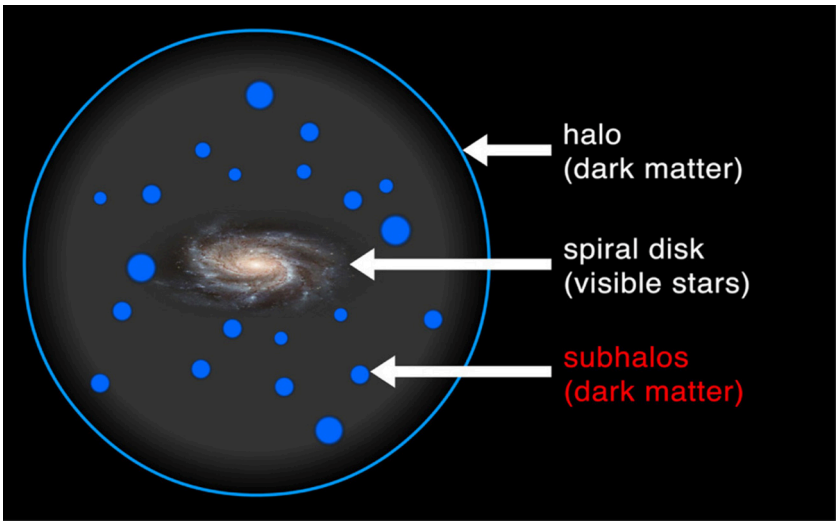
3. تقريبًا، ولكن ليس تمامًا

هناك أدلة قوية للغاية على وصف نظرية المادة المظلمة الباردة لكيفية ترتيب مجموعات المجرات، ولكن لا توجد أدلة كثيرة على الأجزاء الداخلية لكل مجرة منفردة. دعونا نلق نظرة على ما هو داخل مجرة مثل درب التبانة [2]. النجوم في مجرة درب التبانة مرتبة على شكل قرص مفلطح بنمط حلزوني، وهذه النجوم التي يمكننا رؤيتها هي الجزء المرئي من المجرة. تقع تلك النجوم في منتصف هالة أكبر بكثير مكونة من المادة المظلمة، وهذه هي المادة المظلمة التي توفر الجاذبية التي تُبقي النجوم متماسكة معًا في المنتصف (الشكل 1).

تتنبأ فرضية في نظرية المادة المظلمة الباردة بأن قرص النجوم الخاص بنا، مجرة درب التبانة، ليس وحيدًا في هذه الهالة. بل إن مجرتنا محاطة بالعديد من تكتلات المادة المظلمة التي تسمى هالات فرعية. تشبه الهالات الفرعية نسخًا مصغرة من الهالة متداخلة داخل الهالة نفسها. على الرغم من أن علماء الفلك على يقين تام من أن مجرة درب التبانة تقع داخل هالة مادة مظلمة، فإنهم ليسوا متأكدين مما إذا كانت هذه الهالة تحتوي على هالات فرعية، أم لا. وإذا وجدنا أن مجرة درب التبانة تحتوي على هالات فرعية، فسوف يكون لدينا إذن دليل واحد مهم يدعم نظرية المادة المظلمة الباردة. وإلا فقد نحتاج إلى نظرية مختلفة لتفسير المادة المظلمة.

4. تحول المد والجزر

كيف يمكننا البحث عن هالات فرعية مكونة من مادة غير مرئية؟ على الرغم من أننا لا نستطيع رؤية المادة المظلمة بشكل مباشر، فإننا نستطيع أن نرى كيف تؤثر على المواد المرئية مثل النجوم. تميل النجوم إلى التجمع مع نظيراتها في مجموعات بسبب جاذبيتها المتبادلة، فهي تجذب بعضها البعض. ولكن **عناقيد النجوم** لا تدوم إلى الأبد، وكثيرًا ما تتفكك بفعل **قوة المد والجزر** في المجرة.



شكل 1

عناقيد النجوم
(STAR CLUSTER)

مجموعة محدودة من النجوم مرتبطة ببعضها البعض بفعل الجاذبية الخاصة بها، تشبه مجرة صغيرة للغاية. هناك العديد من عناقيد النجوم في مجرة درب التبانة.

قوة المد والجزر
(TIDAL FORCE)

قوة التمدد التي تؤثر على كوكب أو أي جسم مادي آخر بسبب الاختلاف في قوى الجاذبية على مختلف جوانب الجسم.

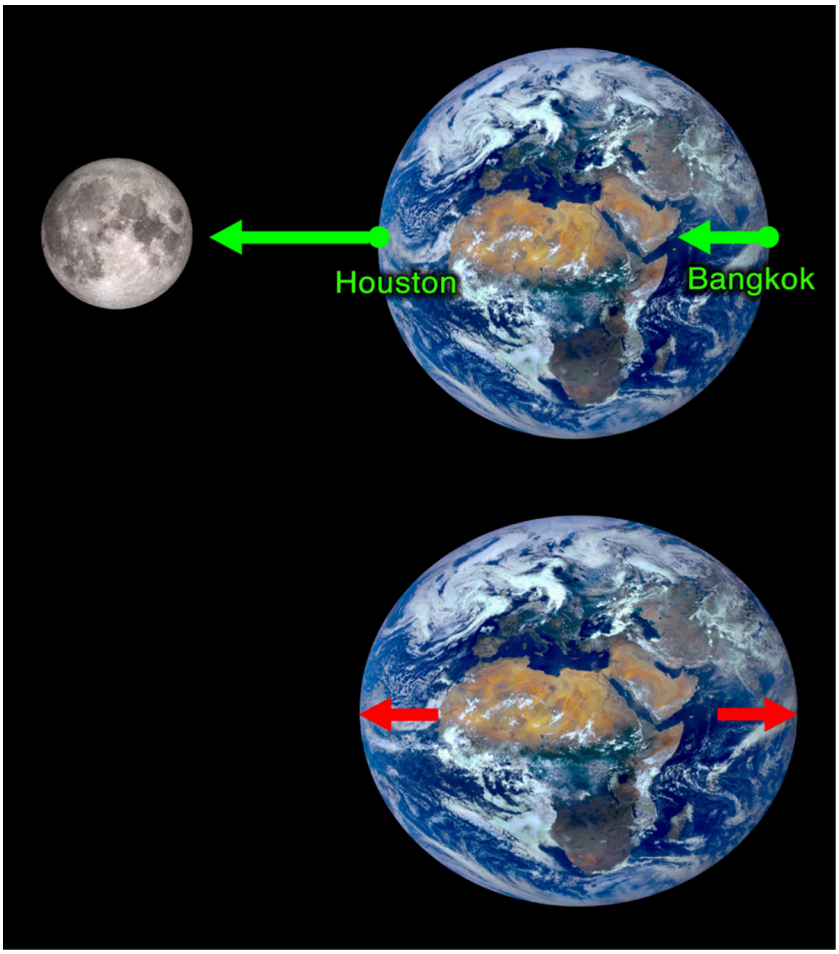
شكل 1

مكونات مجرة درب التبانة (غير مرسومة بالمقياس). فعلماء الفلك على يقين تام من أن مجرة درب التبانة تحتوي على هالة من المادة المظلمة تحيط بالخارج وقرص حلزوني من النجوم في المنتصف. تتنبأ فرضية في نظرية المادة المظلمة الباردة بأن مجرة درب التبانة تحتوي أيضًا على هالات فرعية من المادة المظلمة، موضحة بالنقاط الزرقاء، ولكننا لا نعرف ما إذا كانت هذه الفكرة صحيحة أم لا. ولتأكيد هذه النظرية، نحتاج إلى وسيلة لمعرفة ما إذا كان هناك هالات فرعية أم لا.

وتعمل قوة المد والجزر في المجرة على نحو مماثل لقوة المد والجزر للقمر على الأرض. السبب وراء وجود تيارات المد والجزر على الأرض هو أن الجاذبية بين القمر والأرض ليست واحدة في كل مكان على الأرض. تنجذب المدينة الأقرب إلى القمر نحو القمر بقوة أكبر من المدينة الأبعد عن القمر (الشكل 2). نشعر على الأرض بهذا الفارق في الجاذبية الأرضية وكأن الأرض "مشدودة أو مسحوبة" من طرف إلى آخر. وتتسبب قوة السحب هذه أو قوة المد والجزر في حدوث تيارات المد والجزر في المحيطات.

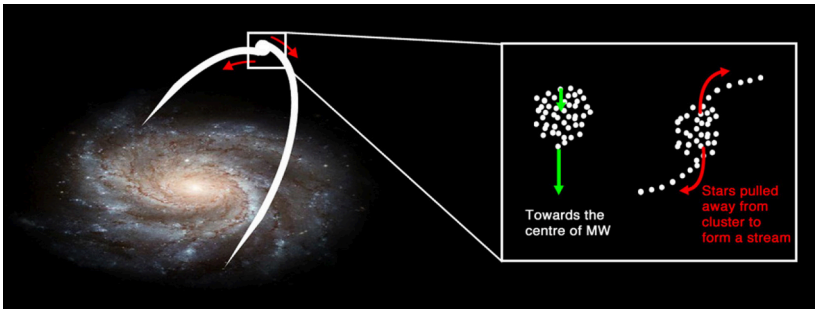
تعمل قوة المد والجزر في عنقود النجوم بالطريقة نفسها. إذ ينجذب عنقود النجوم في مجرة درب التبانة دائمًا نحو مركز المجرة، ولكن قوة الجذب هذه تختلف على جانبي عنقود النجوم.

تسحب المجرة عنقود النجوم تمامًا كما يسحب القمر الأرض، ولكن مع اختلاف واحد كبير. فالأرض معظمها عبارة عن جسم صلب، لذا فإن قوة المد والجزر على القمر تسحبها قليلًا فقط وكأنها مادة مرنة. ولكن عنقود النجوم عبارة عن تجمع لعدد من النجوم، ويمكن لقوة المد والجزر في المجرة أن تمزق هذه المجموعة بسهولة! عندما تُسحب النجوم من عنقودها، فإنها تشكل "تدفقًا" طويلًا من النجوم الملتفة حول المجرة، وهذا التدفق عبارة عن نجوم تصطف الواحدة تلو الأخرى (الشكل 3). تُعرف هذه العملية أحيانًا باسم "التأثيرات المعكرونية". عادة ما تستغرق عملية تمزيق عنقود نجوم



شكل 2

مثال على قوة المد والجزر. تختلف جاذبية القمر المؤثرة على جانبي الأرض. كما نرى في الشكل (غير المرسوم بالمقياس)، نجد أن هيوستن أقرب إلى القمر، لذا فإن جاذبيتها للقمر أقوى من جاذبية بانكوك للقمر (في الأعلى). على الأرض، يبدو هذا الاختلاف في قوة الجذب كما لو أن الأرض مشدودة من هيوستن إلى بانكوك (في الأسفل).



شكل 3

شكل 3

كيف يتشكل تدفق نجمي بفعل قوة المد والجذر في مجرة درب التبانة. على غرار القمر والأرض، فإن جاذبية مجرة درب التبانة المؤثرة على عنقود نجوم لا تؤثر بالقوة نفسها في كل مكان على عنقود النجوم. هذا الشكل يشبه الشكل 2. تمثل الأسهم الخضراء الفارق في الجذب نحو مركز مجرة درب التبانة، وتمثل الأسهم الحمراء قوة التمدد أو السحب التي يتعرض لها عنقود النجوم. مع تمدد عنقود النجوم، تنسحب النجوم بعيدًا عن العنقود الواحدة تلو الأخرى لتشكل تدفقًا يلتف حول المجرة. إن قوة السحب هي التي تتسبب في تكوين التدفق، وبالتالي "ينشأ" تدفق نجمي من عنقود النجوم في المنتصف.

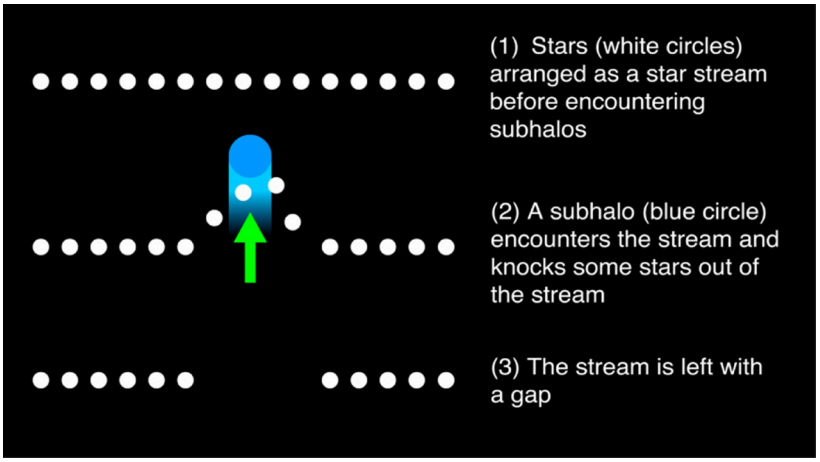
إلى تيار متدفق من النجوم مليارات السنين، ويمكن أن يصل طول التدفق النجمي إلى مئات الآلاف من السنين الضوئية. السنة الضوئية هي المسافة التي يمكن أن يقطعها الضوء في سنة واحدة، وهي حوالي 9.5 تريليون كيلومترا!

5. الفجوات التي تتخلل التدفقات

كيف يمكن أن تساعدنا التدفقات النجمية الساطعة في العثور على هالات فرعية من المادة المظلمة داخل مجرتنا؟ عندما تقترب إحدى الهالات الفرعية من تدفق نجمي، قد تُزاح النجوم القريبة جدًا من خط المواجهة خارج التدفق بفعل الهالة الفرعية. وهذا من شأنه أن يخلق ''فجوة'' في التدفق النجمي (الشكل 4). ولنتأمل في هذا السياق السيارات التي تسير على طريق سريع مزدحم. فعندما تأخذ سيارة مخرجًا، تظهر فجوة في حركة المرور. وبالمثل، عندما يهرب نجم من التدفق النجمي، سيخلق هذا فجوة في التدفق.

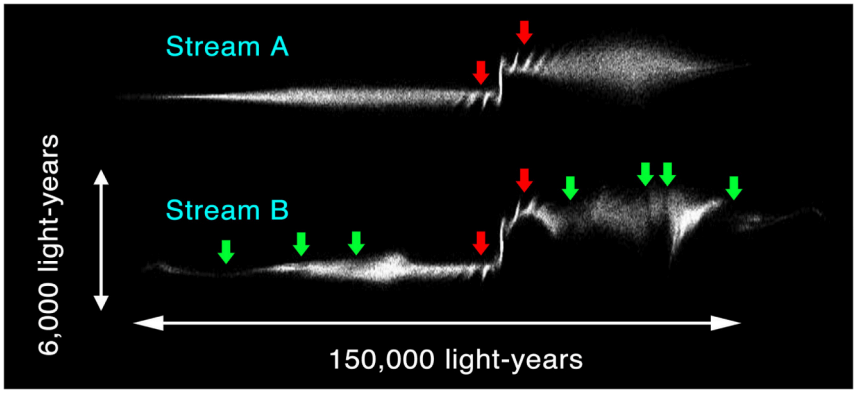
لذا، إذا كانت هناك هالات فرعية في مجرة درب التبانة، فستواجه التدفقات النجمية، وسيتخلل التدفقات النجمية الكثير من الفجوات. يمكن أن يساعدنا البحث عن فجوات في التدفقات النجمية في معرفة ما إذا كانت هناك هالات فرعية في مجرتنا أم لا، وهذا يساعدنا بدوره في معرفة صحة نظرية المادة المظلمة الباردة صحيحة من عدمها. ومع ذلك، فإن تيارات التدفقات النجمية معقدة. وهي تتأثر تأثرًا شديدًا بالأشياء الأخرى في المجرة. في الواقع، حتى لو لم تحتو المجرة على هالات فرعية، فقد يظل تيار التدفق النجمي يحتوي على فجوات. هذا يعني أننا حين نراقب تدفقًا نجميًا في الواقع ونجد فيه فجوات، فإن تلك الفجوات لا تكون دائمًا ناتجة عن هالات فرعية.

وعند البحث عن الفجوات التي تتخلل عناقيد النجوم تُمثل معرفة ما إذا كانت الفجوة المرصودة ناتجة بالفعل عن هالة فرعية أم لا تحديًا كبيرًا؛ وهنا تنشأ الحاجة إلى عمليات المحاكاة الحاسوبية. وعند تصميم المحاكاة، لدينا الحرية في ''بناء'' المجرة بأي طريقة نحبها. تذكر من الشكل 1 أننا نعلم أن مجرتنا، درب التبانة، بها على الأقل هالة وقرص، لكننا لا نعرف على وجه اليقين ما إذا كانت هناك هالات فرعية أم لا. يمكننا محاكاة اثنين من التدفقات النجمية: تدفق في مجرة بها هالات فرعية، وتدفق أخر في مجرة مماثلة للمجرة الأولى باستثناء أنها لا تحتوي على هالات فرعية. بعد ذلك، يمكننا مقارنة الفارق بين هذين التدفقين النجميين، عندئذ نعلم أن الفارق يجب أن يكون بسبب الهالات الفرعية لأن كل شيء آخر في المحاكاة متماثل.



شكل 4

كيف تتكون الفجوة في تدفق نجمي. قبل مواجهة هالة فرعية، يتكون التدفق النجمي من عدد من النجوم تصطف واحدة تلو الأخرى، مثل السيارات في حركة المرور. عندما تواجه الهالة الفرعية التدفق، تقوم الهالة الفرعية بإخراج بعض النجوم من التدفق؛ وبذلك تختفي النجوم القريبة من نقطة المواجهة، الأمر الذي يؤدي إلى خلق فجوة في التدفق النجمي.



شكل 5

اثنان من التدفقات النجمية المصممة بتقنية المحاكاة الحاسوبية. يلتف هذان التدفقان النجميان حول المجرة المصممة بالمحاكاة على غرار ما هو موضَّح في الشكل 3، ولكن تم "تقويم" هذين التدفقين بحيث يسهل رؤية ما يحدث لهما. هذان التدفقان متطابقان، ولكن تمت محاكاة التدفق A في مجرة بدون أي هالات فرعية، في حين تمت محاكاة التدفق B في مجرة بها هالات فرعية، على غرار التدفق الموضح في الشكل 1. تشير الأسهم الحمراء إلى الفجوات التي تتخلل كلا التدفقين، لذلك نحن نعلم أن هذه الفجوات ليست ناتجة عن الهالات الفرعية. ومن ناحية أخرى، تشير الأسهم الخضراء إلى الفجوات التي تتخلل التدفق B المشوه، لذلك يجب أن تكون هذه الفجوات ناتجة عن الهالات الفرعية. يدرس علماء الفلك ما إذا كانت التدفقات الفعلية تبدو مثل التدفقين A أو B أم لا؛ لمعرفة ما إذا كانت هناك هالات فرعية في مجرة درب التبانة من عدمها! (السنة الضوئية هي المسافة التي يمكن أن يقطعها الضوء في سنة واحدة).

شكل 5

يعرض الشكل 5 تدفقين نجميين تم تصميمهما بتقنية المحاكاة الحاسوبية. كان هذان التدفقان النجميان في الأصل رقيقين للغاية وملتفين حول المجرة مثل شريط طويل. في هذا الشكل، تم تقويم التدفقين النجميين وتضخيمهما حتى نتمكن من رؤية ما حدث لهما. تَشكل التدفق A في مجرة بها هالة واحدة فقط، وتشكل التدفق B في مجرة بها هالة رئيسية وهالات فرعية على حد سواء. ولم يتم تضمين القرص في عملية المحاكاة لأي من المجرتين بغرض التبسيط.

على الرغم من أن التدفق A لم يصادف أي هالات فرعية، فإنه ما يزال به فجوات في المنتصف (الأسهم الحمراء في الشكل 5). من ناحية أخرى، واجه التدفق B العديد من الهالات الفرعية، وتختلف فجواته (الأسهم الخضراء في الشكل 5) اختلافًا كبيرًا عن الفجوات الموجودة في التدفق A؛ وهذا يوضح لنا أن الفجوات التي تسببها الهالات الفرعية يمكن أن تحدث في أي مكان على امتداد التدفق وتتخذ أحجامًا مختلفة. يمكن أن تساعدنا عمليات المحاكاة الحاسوبية هذه في دراسة التدفقات النجمية في العالم الحقيقي وتحديد أي الفجوات في التدفق تنشأ عن الهالات الفرعية وأيها تنتج عن تأثيرات أخرى.

6. المستقبل

لا يزال البحث القائم على رصد الفجوات في التدفقات النجمية بغرض دراسة المادة المظلمة في مرحلة مبكرة للغاية. تضمنت المجرة في التدفقين A وB في الشكل 5 هالة رئيسية وهالات فرعية فقط، ولكن لم تتضمن قرصًا نجميًا. إذا قمنا بتضمين القرص، فهل سيؤدي ذلك إلى ظهور فجوات في التدفقات النجمية أيضًا؟ كذلك، تتميز الهالة المستخدمة في التدفقات الواردة في الشكل 5 بأنها متماثلة تقريبًا، ولكن ليس تمامًا، مثل الهالة الموجودة في مجرة درب التبانة. هل ستتضمن التدفقات النجمية مزيدًا من الفجوات إذا تشكلت داخل هالة تشبه إلى حد كبير هالة درب التبانة؟ تتطلب الإجابة عن هذه الأسئلة المزيد من عمليات المحاكاة الحاسوبية.

وفي نهاية المطاف، يتعين علينا أن نبحث عن الفجوات في التدفقات النجمية الواقعية، وليس فقط في عمليات المحاكاة الحاسوبية. ولكي نثق في نظرية المادة المظلمة الباردة، يتعين علينا أن نراقب الفجوات في أكبر عدد ممكن من عناقيد النجوم.

وجد علماء الفلك حوالي 10-20 تدفقًا نجميًا حتى الآن في مجرة درب التبانة والتي قد يكون من الجيد رصدها لاختبار نظرية المادة المظلمة الباردة [3]. ومن حسن الحظ أن علماء الفلك من المحتمل أن يكتشفوا المزيد من التدفقات النجمية في المستقبل القريب، مما يقربنا من فهم المادة المظلمة.

مقال المصدر الأصلي

Ngan, W. H. W., and Carlberg, R. G. 2014. Using gaps in N-body tidal streams to probe missing satellites. *Astrophys. J.* 788:181. doi: 10.1088/0004-637X/788/2/181

المراجع

1. Planck Collaboration, Ade, P. A. R., Aghanim, N., Armitage-Caplan, C., Arnaud, M., Ashdown, M., et al. 2014. Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. *Astron. Astrophys.* 571:A16. doi: 10.1051/0004-6361/201321591
2. Binney, J., and Merrifield, M. 1998. *Galactic Astronomy. Princeton Paperbacks*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
3. Grillmair, C. J. 2010. Stellar debris streams: new probes of galactic structure and formation. In *Galaxies and Their Masks*, eds D. L. Block, K. C. Freeman, and I. Puerari, 247. New York, NY: Springer.

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 أغسطس 2021

حرره: Shane L. Larson, Northwestern University, United States

الاقتباس: Ngan W (2021) الاستعانة بالتدفقات النجميّة الساطعة لكشف أسرار المادة المظلمة. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2017.00029-ar

مُترجَم ومقتبس من: Ngan W (2017) Using Bright Streams to Learn about Dark Matter. Front. Young Minds 5:29. doi: 10.3389/frym.2017.00029

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 © 2017 © 2021 Ngan. 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

INDEPENDENT ELEMENTARY SCHOOL، الأعمار: 10-11

نحن مجموعة رائعة وكبيرة ومحبة للاطلاع ومفعمة بالحركة والنشاط والضحك من طلاب الصف الخامس في منطقة San Francisco Bay. نحن مفكرون مستقلون ونحب العلم! ويشرفنا كذلك أن نكون من المشاركين في هذا المشروع!

المؤلفون

WAYNE NGAN

منذ أن كنت طفلًا صغيرًا كنت دائمًا مفتونًا بعلم الفلك. أحببت النظر إلى السماء في الليل وزيارة أقسام علم الفلك في المراكز العلمية. عندما كبرت وخلال نشأتي، نما لدي أيضًا شغف بتصميم برامج الحاسوب لحل المشكلات. قادني هذا إلى متابعة دراستي في علم الفلك الحسابي، فتخصصت في استخدام تقنية المحاكاة الحاسوبية في فهم المجرات. *ngan@astro.utoronto.ca

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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