

تظهر الدراسة النظرية أن ثقوب كير السوداء يمكن أن تضخم الفيزياء الجديدة

إعداد وتحريـر د. جواد بشارة

عن مجلة الفيزياء الفلكية Physical Review Letters



انطباع الفنان عن ثقب أسود هائل. ناسا/مختبر الدفع النفاث-معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا

الثقب الأسود هو منطقة من الزمكان حيث الجاذبية قوية جدًا بحيث لا يمكن لأي شيء الهروب منها، ولا حتى الضوء أو موجات الراديو. ركزت الكثير من الأبحاث على هذه الأجسام الفلكية المثيرة للاهتمام، لكن العديد من التفاصيل الفيزيائية لا تزال مجهولة.

في الآونة الأخيرة، أجريت دراسة نظرية على نوع محدد من الثقوب السوداء - ثقوب كير السوداء المتطرفة، وهي عبارة عن ثقوب سوداء ثابتة غير مشحونة ذات أفق داخلي وخارجي متطابق - من قبل باحثين في جامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا، ومن جامعة وارسو، وجامعة كامبريدج. يوضح بحثهم، المنشور في مجلة Physical Review Letters، كيف يمكن لهذه الثقوب السوداء المحددة أن تكون بمثابة "مضخات" ممتازة لظواهر فيزيائية لم تكن معروفة سابقًا.

وفقًا لموقع Phys.org، قال أحد الباحثين في الدراسة، ماسيغ كولانوفسكي: "ترجع أصول هذا البحث إلى مشروع سابق بدأ خلال زيارتي لجامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا. «ناقشت لأول مرة موضوع الثقوب السوداء شديدة البرودة (أو الثقوب السوداء الشديدة) مع غاري هورويتز من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو وخورخي سانتوس من كامبريدج. لم يستغرق الأمر وقتًا طويلًا حتى ندرك أن الثقوب السوداء المتطرفة العامة لا تبدو كما افترضنا.

أظهر كولانوفسكي وهورويتز وسانتوس في دراسة سابقة أن الثقوب السوداء المتطرفة تخضع لقوى المد والجزر اللانهائية في وجود ثابت كوني. إذا سقط أي شيء حي في الثقب الأسود، فسوف يتم تدميره بواسطة الجاذبية الهائلة قبل وقت طويل من وصوله إلى المركز. ومع ذلك، أثبتت المجموعة أنه إذا كان الثابت الكوني سلبيا، كما هو متوقع في العديد من السيناريوهات الفيزيائية الفلكية، فإن هذا التأثير يختفي. قال جرانت ريمين: "الورقة الحالية مستوحاة من غداء الجاذبية الأسبوعي في جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا". لقد أجريت مقابلة مع هورويتز بعد أن ألقى ندوة حول بحثه في متفرقات أو فرادات حدود الثقب الأسود، لتحديد ما إذا كانت القوى الأخرى يمكن أن تؤدي إلى أحداث مماثلة. جاء الإلهام من تجربتي في العمل مع نظريات المجال الفعال (EFT)، وخاصة في إنشاء التصحيحات الكمومية للنماذج الفيزيائية. سألت هورويتز عما إذا كانت التعديلات الكمومية لمعادلات أينشتاين (المشتقات الأعلى) يمكن أن تسبب تفرقات أو فرادات singularités في أفق الثقوب السوداء الضخمة حقًا.

بدأ هورويتز وريمين العمل مع كولانوفسكي وسانتوس بعد أن أبلغهم ريمين بفكرته على أمل اختبارها من خلال سلسلة من الحسابات. استخدم الفريق جاذبية أينشتاين مع تصحيحاتها الكمومية الأكثر تقدمًا في حساباتهم.

موتر ريمان، وهو بناء رياضي يصف انحناء الزمكان، خطي في معادلات أينشتاين، كما أوضح ريمين. تعد العوامل التكميلية (القوة الثالثة) والتريبعية (القوة الرابعة) في الانحناء من أهم التصحيحات لنظرية أينشتاين في الفضاء ثلاثي الأبعاد. تسمى المصطلحات المشتقة الأعلى بهذا الاسم لأن الانحناء هو مقياس لمشتقات هندسة الزمكان. لقد حددنا كيف تؤثر هذه العوامل المشتقة الأعلى على ديناميكيات الثقوب السوداء ذات معدلات الدوران السريعة.

عندما يتحرك أفق الحدث بسرعة الضوء، فإن الثقوب السوداء الموجودة في الأطراف تدور بأسرع سرعة يمكن تخيلها. ووجد الباحثون أن الثقوب السوداء المتطرفة لها آفاق انفرادية وقوى مد لا نهائية بسبب تصحيحات التحويل الإلكتروني المشتقة الأعلى. وهذا يتناقض بشكل حاد مع حقيقة أن قوى المد والجزر التي يمارسها الثقب الأسود القياسي محدودة ولا تصبح لا نهائية إلا عند تفرده.

وكما يقول ريمين: «تقفز التفرقة أو الفرادة من مركز الثقب الأسود إلى الأفق، حيث لا تتوقع ذلك.» « يتم تحديد قيمة المعامل أمام جملة التحويل الإلكتروني المعينة، "معلومات الاتصال" في قواعد الفيزياء، من خلال أدوات التوصيل وأنواع الجسيمات الموجودة عند الطاقة العالية والمسافات الصغيرة. وبالتالي فإن معاملات التحويل الإلكتروني تستجيب للفيزياء الناشئة.

علاوة على ذلك، فإن درجة انحراف المد والجزر في أفق الثقوب السوداء المتطرفة وإمكانية تفرد المد والجزر تعتمد بشدة على معاملات التحويل الإلكتروني (EFT)، كما اكتشفها كولانوفسكي، وهورويتز، وريمن، وسانتوس. تظهر الحسابات أن هندسة الزمكان القريبة من الأفق لهذه الثقوب السوداء حساسة للفيزياء الجديدة في الطاقات الأعلى، مما يشير إلى أن الثقوب السوداء يمكن أن تكون نافذة على الكون المظلم.

وقال ريمن إنه بالنسبة لقيم معاملات التحويل الإلكتروني التي أنشأها النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، فإن "هذا التفرد غير المتوقع موجود".

تشير الطبيعة غير المتوقعة للنتائج التي توصلنا إليها إلى أن نموذج فيزياء الطاقة المنخفضة قد يفشل في ظل ظروف غير متوقعة. بين مقاييس الطول المختلفة، هناك عمومًا "فصل" في الفيزياء. على سبيل المثال، يمكن استخدام الديناميكا المائية لوصف الموجات دون الخوض في تفاصيل حول جزيئات الماء. يفشل التحويل الإلكتروني للطاقة (EFT) منخفض الطاقة بالفعل في أفق الثقوب السوداء سريعة الدوران.

تشير عمليات المحاكاة التي أجراها الفريق، مجتمعة، إلى أن الثقوب السوداء المتطرفة التي اكتشفها كير يمكن أن تبشر بدراسة فيزياء لم تكن معروفة من قبل. على الرغم من أن آفاق هذه الثقوب السوداء يمكن أن تكون هائلة الحجم، إلا أنه لم يتم التنبؤ بانحناء كبير بلا حدود (وبالتالي قوى المد والجزر اللانهائية) في التحويل الإلكتروني. وبناء على النتائج التي توصلوا إليها، يبدو أن هذا هو الحال.

وقال ريمن: "في العمل المستقبلي، نريد استكشاف ما إذا كان من الممكن حل التفردات عن طريق فيزياء الأشعة فوق البنفسجية". على سبيل المثال، "يظل سؤالاً مفتوحًا مهمًا ما إذا كانت حساسية الأفق للفيزياء الجديدة تحافظ على مستوى مقياس بلانك أو ما إذا كان الأفق يلين على المقياس قصير المدى المرتبط بالتحويل الإلكتروني. ونحن نبحث أيضًا عن حالات أخرى حيث يمكن أن تؤدي التأثيرات المحلية إلى عواقب عالمية هائلة.

لم يكتف العلماء بالتركيز على خفايا وأسرار الثقوب السوداء بل امتد الأمر لدراسة المجرات التي تحتوي كلها تقريباً على ثقوب سوداء مركزية فلقد اكتشف علماء الفلك وفرة من المجرات الشبيهة بدرب التبانة في الكون المبكر، مما قد يستدعي ذلك إلى إعادة كتابة نظريات التطور الكوني.



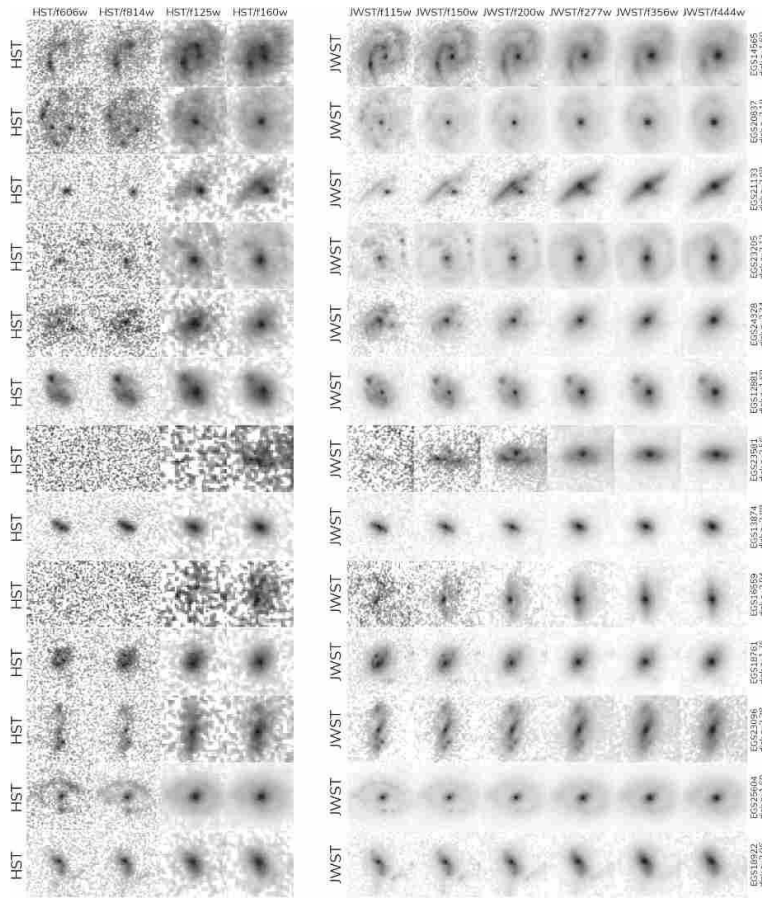
انطباع الفنان عن درب التبانة. ائتمان: نيك رايزنجر

تشبه المجرات في الكون المبكر مجرتنا درب التبانة أكثر مما كان يعتقد سابقًا، مما يقلب السرد بأكمله رأسًا على عقب فيما يتعلق بكيفية تفكير العلماء في كيفية تشكل الهياكل في الكون، وفقًا لبحث جديد نُشر مؤخرًا.

باستخدام تلسكوب جيمس ويب الفضائي (JWST)، اكتشف فريق دولي من الباحثين، بما في ذلك باحثون من جامعة مانشستر وجامعة فيكتوريا في كندا، أن المجرات مثل مجرتنا درب التبانة تهيمن على جميع أنحاء الكون وهي شائعة بشكل مدهش.

وتعود هذه المجرات إلى زمن بعيد في تاريخ الكون، وقد تشكل الكثير منها قبل 10 مليارات سنة أو أكثر. مجرة درب التبانة هي مجرة قرصية نموذجية، لها شكل مشابه لشكل الفطيرة أو القرص المضغوط، وتدور حول مركزها وغالبًا ما تحتوي على أذرع حلزونية. يُعتقد أن هذه المجرات هي الأكثر شيوعًا في الكون القريب المرئي ويمكن أن تكون نوع المجرات التي يمكن أن تتطور فيها الحياة نظرًا لطبيعة تاريخ تكوينها. ومع ذلك، اعتبر علماء الفلك سابقًا أن هذه الأنواع من المجرات هشة للغاية بحيث لا يمكن وجودها في الكون المبكر، عندما كانت عمليات اندماج المجرات أكثر شيوعًا، مما أدى إلى تدمير ما كنا نعتقد أنه أشكالها الدقيقة.

ويكشف الاكتشاف الجديد، الذي نُشر اليوم في مجلة الفيزياء الفلكية، أن هذه المجرات القرصية أكثر شيوعًا بعشر مرات مما يعتقد علماء الفلك بناءً على ملاحظات سابقة باستخدام تلسكوب هابل الفضائي. وقال كريستوفر كونسيلسي، أستاذ علم الفلك خارج المجرة في جامعة مانشستر: "باستخدام تلسكوب هابل الفضائي، اعتقدنا أن المجرات القرصية كانت شبه معدومة حتى كان عمر الكون حوالي 6 مليارات سنة". تؤدي نتائج JWST الجديدة هذه إلى تأخير الوقت بين هذه المجرات اللبنية. تشكلت المجرات الشبيهة بالمسار في بداية الكون تقريبًا.



مقارنة بين HST و JWST. نعرض 13 مجرة من عينتنا التي تحتوي على ملاحظات في مرشحات CANDELS الأربعة الرئيسية (اللوحة اليسرى) ومرشحات LW و SW في JWST (اللوحة اليمنى). تكون الميزات الضعيفة في CANDELS واضحة جدًا بشكل عام في JWST. في بعض الحالات، يمكن رؤية النواة المركزية للمجرة فقط من خلال تصوير HST. تسمية التصنيف الموضحة مشتقة من تصنيفات JWST الخاصة بنا. الائتمان: مجلة الفيزياء الفلكية (2023). دوى: acce76/4357-1538/10.3847

إشارات الراديو تكشف أسرار الثقوب السوداء الهائلة المخفية:

يقلب هذا البحث تمامًا الفهم الحالي لكيفية اعتقاد العلماء بأن كوننا يتطور، ويقول العلماء إنه يجب أخذ الأفكار الجديدة في الاعتبار.

وقال المؤلف الرئيسي للبحث ليوناردو فيريرا من جامعة فيكتوريا: "لأكثر من 30 عامًا، كان يعتقد أن هذه الكائنات الثقوب السوداء يمكن أن تكون نافذة على الكون المظلم.

وقال ريمن إنه بالنسبة لقيم معاملات التحويل الإلكتروني التي أنشأها النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، فإن "هذا التفرد غير المتوقع موجود".

وقال كريستوفر كونسيليسي، أستاذ علم الفلك خارج المجرة في جامعة مانشستر: "باستخدام تلسكوب هابل الفضائي، اعتقدنا أن المجرات القرصية كانت شبه معدومة حتى عندما كان عمر الكون حوالي 6 مليارات سنة". تؤدي نتائج JWST الجديدة هذه إلى تأخير الزمن بين هذه المجرات اللبنية. تشكلت المجرات الشبيهة بالمسار في بداية الكون تقريبًا.

يقلب هذا البحث تمامًا الفهم الحالي لكيفية اعتقاد العلماء بأن كوننا يتطور، ويقول العلماء إنه يجب أخذ الأفكار الجديدة في الاعتبار.

وقال المؤلف الرئيسي ليوناردو فيريرا من جامعة فيكتوريا: "لأكثر من 30 عامًا، كان يعتقد أن وجود هذه الكائنات كان نادرًا في بداية الكون بسبب المواجهات العنيفة الشائعة التي تتعرض لها المجرات. حقيقة أن تلسكوب جيمس ويب الفضائي عثر على الكثير منها هي علامة أخرى على قوة هذه الأداة وحقيقة أن هياكل المجرات تتشكل في وقت مبكر في الكون، في وقت أبكر بكثير في الواقع، مما توقعه أي شخص.

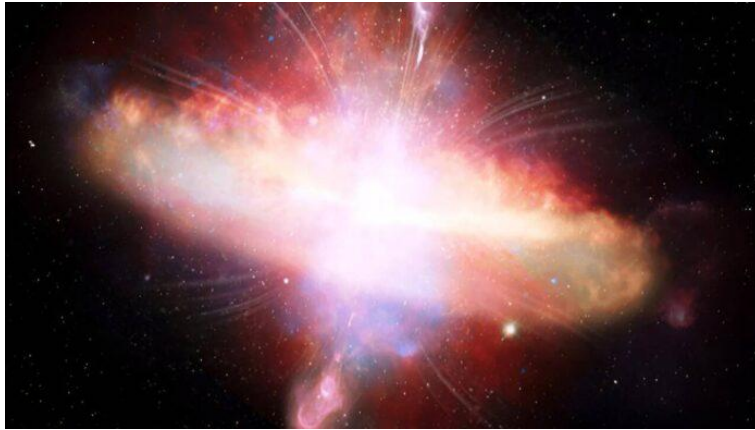
كان يُعتقد سابقًا أن المجرات القرصية، مثل مجرة درب التبانة، نادرة نسبيًا عبر التاريخ الكوني، ولم تتشكل إلا عندما كان الكون في منتصف العمر بالفعل.

في السابق، اعتقد علماء الفلك الذين يستخدمون تلسكوب هابل الفضائي أن المجرات في الغالب تحتوي على هياكل غير منتظمة وغريبة تشبه عمليات الاندماج. ومع ذلك، فإن قدرات تلسكوب جيمس ويب الفضائي الفائقة تسمح لنا الآن برؤية البنية الحقيقية لهذه المجرات للمرة الأولى.

ويقول الباحثون إن هذه علامة أخرى على أن "بنية" الكون تتشكل بشكل أسرع بكثير من المتوقع.

يتابع البروفيسور كونسيليس: "تُظهر نتائج تلسكوب جيمس ويب الفضائي أن المجرات القرصية، مثل مجرتنا درب التبانة، هي النوع الأكثر شيوعًا من المجرات في الكون. وهذا يعني أن معظم النجوم موجودة وتتشكل داخل هذه المجرات، مما يغير فهمنا الكامل لكيفية حدوث تشكيل المجرات. تقترح هذه النتائج أيضًا أسئلة مهمة حول المادة السوداء أو المظلمة في الكون المبكر، والتي لا نعرف عنها سوى القليل جدًا."

"بناءً على نتائجنا، يحتاج علماء الفلك إلى إعادة التفكير في فهمنا لكيفية تشكل المجرات المبكرة وكيف حدث تطور المجرات على مدى العشرة مليارات سنة الماضية."



انطباع الفنان عن الكوازار الأحمر. الكوازارات الحمراء محاطة بالغاز والغبار، والتي يمكن أن تتطاير بعيدًا عن طريق مخارج الثقوب الأسود الهائل، مما يؤدي في النهاية إلى الكشف عن كوازار أزرق نموذجي. الائتمان: S. مونرو و L. كليندت. الترخيص: الإسناد (CC BY 4.0)

اكتشف علماء الفلك صلة مذهلة بين كمية الغبار المحيط بثقب أسود هائل وقوة الانبعاث الراديوي الناتج في المجرات شديدة السطوع.

واستخدم فريق من علماء الفلك الدوليين، بقيادة جامعة نيوكاسل وجامعة دورهام بالمملكة المتحدة، بيانات جديدة من أداة التحليل الطيفي للطاقة المظلمة (DESI)، التي تجري دراسة لمدة خمس سنوات حول البنية واسعة النطاق للكون والتي سيشمل أطيافاً بصرية لما يقرب من 3 ملايين من النجوم الزائفة؛ مجرات شديدة السطوع مدعومة بالثقوب السوداء الهائلة.

ووجدوا أن الكوازارات التي تحتوي على غبار أكثر، وبالتالي تبدو أكثر احمرارًا، كانت أكثر عرضة لانبعاثات راديوية أقوى من الكوازارات التي تحتوي على القليل جدًا من الغبار أو لا تحتوي على أي غبار، وتبدو زرقاء جدًا. يتم نشر النتائج في الإشعارات الشهرية للجمعية الفلكية الملكية.

تحتوي كل مجرة معروفة تقريبًا على ثقب أسود هائل، أي ثقب سوداء كتلتها أكبر ملايين أو مليارات من كتلة شمسنا، في مركزها، بما في ذلك مجرتنا درب التبانة. في بعض المجرات، يوجد الكثير من المادة في المركز، والتي تغذي هذا الثقب الأسود الهائل وتنميته، مما يجعله نشيطًا ونشطًا للغاية.

وتسمى أقوى أنواع هذه المجرات النشطة بالكوازارات، وهي من ألمع الأجسام في الكون. تظهر معظم النجوم الزائفة باللون الأزرق للغاية، وذلك بسبب القرص اللامع من المواد التي تدور حول الثقب الأسود المركزي الهائل وتزوده بالطاقة، وهو شديد السطوع في الأطوال الموجية الضوئية والأشعة فوق البنفسجية. ومع ذلك، اكتشف علماء الفلك أن جزءًا كبيرًا من هذه الكوازارات تبدو حمراء جدًا، على الرغم من أن طبيعة هذه الأجسام ليست مفهومة جيدًا بعد.

ومن أجل فهم فيزياء هذه الكوازارات الحمراء، هناك حاجة إلى قياسات "الطيفية"، والتي يمكن استخدامها لتحليل ضوء الكوازار بأطوال موجية مختلفة. يمكن أن يشير شكل طيف الكوازار إلى كمية الغبار الموجودة حول المنطقة الوسطى. يمكن أن تخبرك مراقبة الانبعاثات الراديوية الصادرة عن الكوازارات أيضًا عن طاقة الثقب الأسود المركزي الهائل؛ سواء كانت تطلق "رياحًا" قوية أو "تفاثات" يمكنها تشكيل المجرة المحيطة.

فهم أسرار الكوازارات الحمراء :

هذه الدراسة الجديدة، بقيادة الدكتورة فيكتوريا فوسيت من جامعة نيوكاس وسبق أن استخدم تيل، والذي كان سابقًا من جامعة دورهام، الملاحظات الطيفية من DESI لقياس كمية الغبار (الاحمرار) في عينة مكونة من حوالي 35000 كوازار وربط ذلك بالانبعاثات الراديوية المرصودة. وجد الباحثون أن DESI قادر على مراقبة النجوم الزائفة الحمراء (المتربة) الأكثر تطرفًا مقارنةً بالمسوحات الطيفية المماثلة/السابقة، مثل مسح سلون الرقمي للسماء (SDSS). ووجدوا أيضًا أن الكوازارات الأكثر احمرارًا من المرجح أن تنتج انبعاثات راديوية قوية أكثر من الكوازارات الزرقاء النموذجية.

قالت الدكتورة فوسيت: "كان من المثير حقًا رؤية الجودة المذهلة لبيانات DESI واكتشاف الآلاف من هذه الكوازارات الحمراء النادرة سابقًا. أشعر أن هذه الدراسة تجمع العديد من قطع اللغز في فهمنا

للكوازارات الحمراء وتربط بشكل قاطع غبار الكوازار بانبعثات الراديو الخاص به. أعتقد أن هذا هو أقوى دليل حتى الآن على أن النجوم الزائفة الحمراء هي عنصر أساسي في تطور المجرات.

من المحتمل أن يكون هذا الاتصال الراديوي المحمر بسبب التدفقات القوية للغاز المنبعثة من الثقب الأسود الهائل، والتي ضربت الغبار المحيط، مما تسبب في حدوث صدمات وانبعثات راديوية. ستعمل هذه التدفقات في النهاية على إبعاد كل الغبار والغاز من المنطقة الوسطى من المجرة، مما يكشف عن نجم زائف أزرق وينتج عنه انبعثات راديوية أضعف.

وهذا يتفق مع الفكرة الناشئة بأن النجوم الزائفة الحمراء تشكل مرحلة "انفجار" أصغر سنا في تطور المجرات. ولذلك يمكن أن تكون الكوازارات الحمراء مهمة للغاية لفهم تطور المجرات مع مرور الوقت.

وتواصل الدكتورة فوسيت: "لا يزال هناك العديد من الأسئلة التي لم تتم الإجابة عليها حول الكوازارات الحمراء، مثل ما إذا كانت رياح الثقب الأسود أو النفثات الراديوية هي المسؤولة في نهاية المطاف عن هذا الانبعثات الراديوية المعزز. ومع ذلك، مع استمرار نمو عينة الكوازار الأحمر من DESI خلال السنوات القليلة القادمة من المسح، فأنا واثقة من أننا قريبون من الفهم الكامل لطبيعة هذه الكوازارات الحمراء.

مراجع :

غاري تي هورويتز وآخرون، الثقوب السوداء المتطرفة كير كمضخات للفيزياء الجديدة، رسائل المراجعة الفيزيائية (2023). دوى: PhysRevLett.131.091402/10.1103

ليوناردو فيريرا وآخرون، تسلسل JWST Hubble: التطور البصري للإطار الباقي لبنية المجرة عند 1.5 <math>z < 6.5</math>، مجلة الفيزياء الفلكية (2023). دوى: acec76/4357-1538/10.3847

VA Fawcett et al، علاقة ملفتة للنظر بين إخماد الغبار والكشف الراديوي في DESI QSOs: دليل على مرحلة انفجار الغبار في QSOs الحمراء، الإشعارات الشهرية للجمعية الفلكية الملكية (2023).

دوى: 10.1093/منراس/ستاد2603