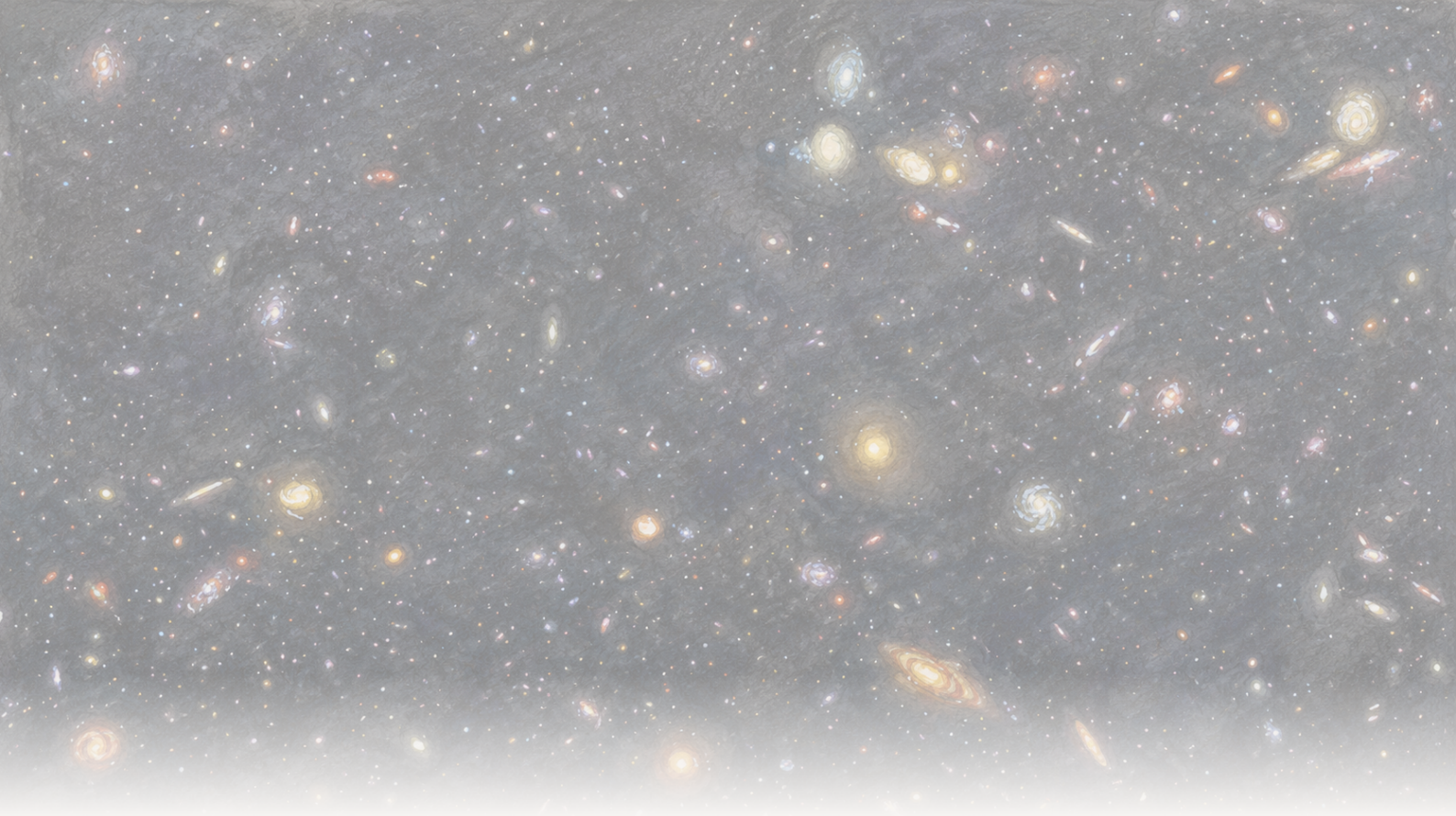




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

La galaxia más lejana captada hasta ahora filtrando su luz ionizante

Astrónomos usaron el JWST y Hubble para captar el ultravioleta ionizante que escapa de una sola galaxia unos 250 millones de años después de la reionización cósmica: la "fuga" de este tipo más distante vista directamente. La fracción de escape titular, 50-100 %, es real pero reconstruida mediante modelos, no medida; el resultado más discreto es una primera prueba a alto corrimiento al rojo de cómo detectar la fuga cuando ya no pueda verse.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Cinzia Vaglio and Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

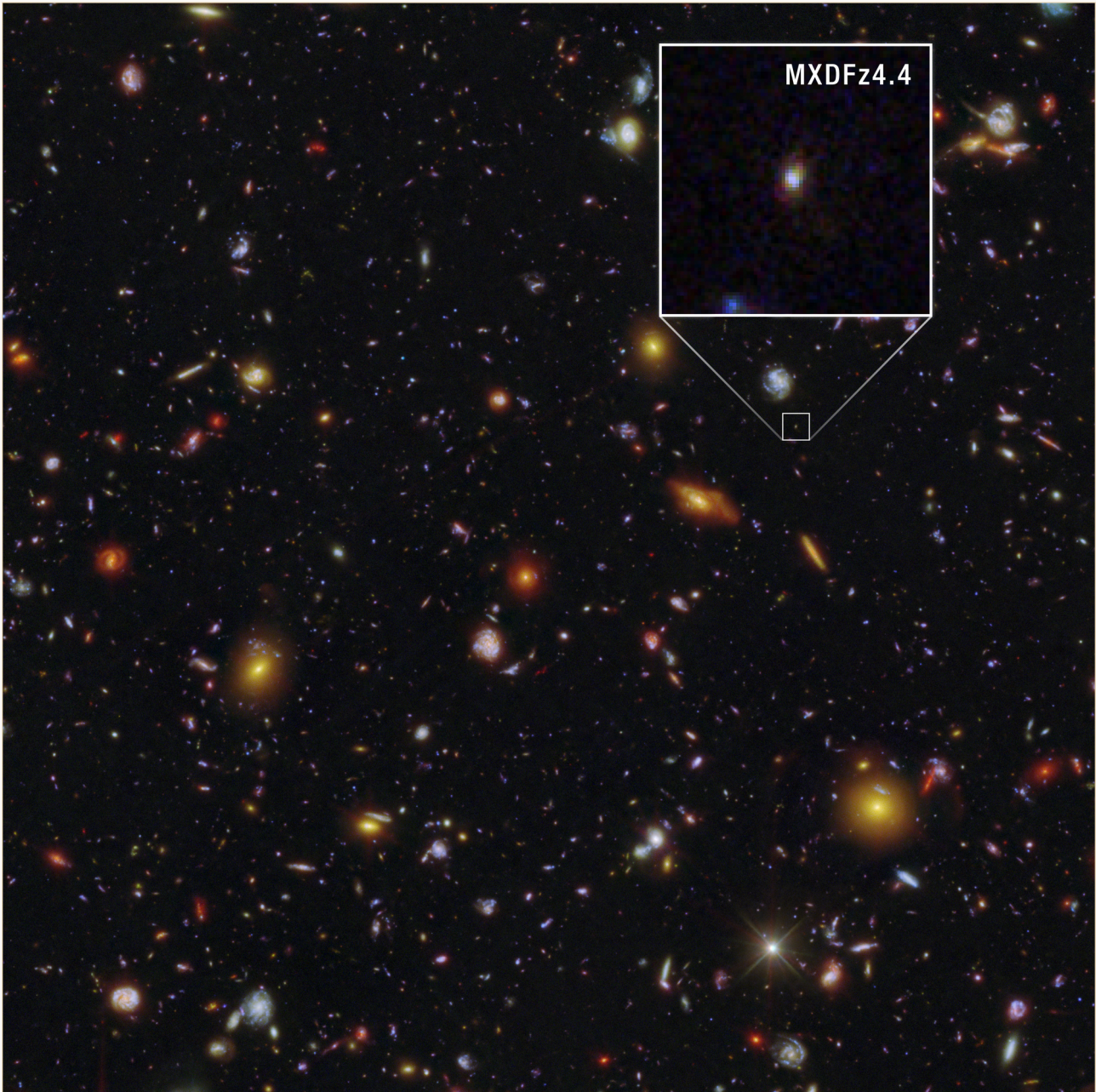
Paper: MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M. Koekemoer, Mitchell Revalski, Matthew J. Hayes, Claudia Scarlata, Ray A. Lucas, Norman A. Grogin, David V. Stark, Paolo Sun, Nor Pirzkal, and Louis-Gregory Strolger, The Astrophysical Journal (accepted, 2026) · DOI: 10.3847/1538-4357/ae75b0

La luz que despejó la niebla

Durante sus primeros varios cientos de millones de años, el universo fue opaco. El espacio estaba lleno de hidrógeno neutro, átomos con sus electrones todavía unidos, y el hidrógeno neutro es muy bueno absorbiendo ultravioleta *ionizante*: la luz de longitud de onda corta, por debajo de 912 ångström (el *límite de Lyman*), lo bastante energética como para arrancar el electrón de un átomo de hidrógeno. No todo el ultravioleta hace esto: el ultravioleta de longitud de onda mayor no se absorbe de la misma manera, y vemos mucho procedente de las primeras galaxias, así que es específicamente esta luz ionizante la que el universo joven atrapaba. Luego, durante el siguiente millardo de años más o menos, algo inundó el cosmos con suficiente cantidad de ella como para arrancar de nuevo esos electrones, ionizar el hidrógeno y permitir que la luz viajara libremente. Los astrónomos llaman a esto la época de reionización, y los sospechosos obvios son las primeras galaxias: las estrellas calientes y de vida corta que contienen emiten ultravioleta ionizante, y si escapaba lo suficiente hacia el espacio intergaláctico, podrían haber hecho el trabajo.

El problema está en la palabra *escapaba*. La mayor parte de la luz ionizante de una galaxia nunca sale: la absorbe el mismo hidrógeno dentro de la galaxia que las estrellas intentan ionizar. Solo una fracción se filtra al espacio, y esa fracción, la *fracción de escape*, es el número más difícil de precisar en toda la historia. Peor aún, durante la propia reionización la luz filtrada es casi imposible de captar: la niebla intergaláctica que ayuda a despejar la absorbe mucho antes de que llegue a nosotros. Así que, para estudiar la fuga, los astrónomos tienen que mirar justo *después* de que se levanta la niebla, a galaxias lo bastante cercanas a esa era como para servir de sustitutos.

Un equipo dirigido por Ilias Goovaerts ha captado ahora esa fuga casi tan atrás como se ha visto nunca. Usando imágenes profundas de Hubble y del JWST, reportan una sola galaxia tenue, catalogada como MXDFz4.4, cuyo ultravioleta ionizante que escapa aparece como una mancha de luz en un filtro de Hubble. La galaxia está en corrimiento al rojo 4,442, unos 250 millones de años después de que terminara la reionización: la “filtradora” detectada directamente más distante registrada.



MXDFz4.4 (ampliada en el recuadro) es una mancha tenue en este campo profundo de Hubble y JWST: la galaxia más distante captada hasta ahora filtrando directamente su ultravioleta ionizante, vista unos 250 millones de años después de que terminara la reionización cósmica.

NASA, ESA, CSA, STScI, Ilias Goovaerts (STScI), Marc Rafelski (STScI, JHU), Anton Koekemoer (STScI); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI) CC BY 4.0

El número que viajará desde este artículo es la fracción de escape, y es alta: entre la mitad y la totalidad de la luz ionizante de la galaxia. Ese número es real, pero vale la pena tener cuidado con qué significa “real” aquí. No se midió directamente de la imagen; se reconstruyó mediante una cadena de modelos, y su rango es amplio por una razón honesta. La historia más útil tiene dos partes: qué puede y no puede decirnos una sola fuga captada, y un segundo resultado más discreto: el primer intento, tan atrás en el tiempo, de comprobar una forma indirecta de detectar la fuga, antes del día en que el método directo deje de funcionar.

Qué es una “fracción de escape”, y por qué es tan escurridiza

Las estrellas, especialmente las más grandes, calientes y jóvenes, emiten ultravioleta con energía suficiente para arrancar electrones de átomos de hidrógeno. Los astrónomos llaman a esto radiación ionizante o, en las longitudes de onda concretas implicadas, luz de *continuo de Lyman*. Es la moneda de la reionización: el universo se volvió transparente cuando suficientes de esos fotones quedaron libres para mantener ionizado el hidrógeno intergaláctico.

Pero una galaxia también está llena de hidrógeno. Buena parte de la luz ionizante que produce una galaxia queda absorbida antes de salir: se gasta ionizando el gas propio de la galaxia. La *fracción de escape* es la parte que logra salir al espacio intergaláctico, donde sí puede ayudar a reionizar el universo más amplio. Es el núcleo de toda la pregunta, y es difícil de medir por dos razones.

Primero, durante la reionización el medio intergaláctico todavía está lleno de hidrógeno neutro, que absorbe exactamente la luz que intentas detectar, así que la luz filtrada normalmente nunca nos llega. Segundo, incluso cuando *puedes* ver parte de ella (justo después de la era, a lo largo de una línea de visión inusualmente despejada), convertir esa detección en una fracción de escape significa dividir lo que observas por lo que la galaxia produjo, y lo que produjo tampoco puedes verlo directamente. Hay que modelarlo: a partir de la otra luz de la galaxia, su historia de formación estelar inferida y supuestos sobre las propias estrellas.

Por eso las fracciones de escape llegan con barras de error amplias, y por eso, una vez que también hay que modelar la absorción intergaláctica, la misma detección puede sostener un rango amplio de respuestas. El número es una reconstrucción, no una lectura.

Qué hicieron los autores

- Confirmaron la distancia de la galaxia con espectroscopía profunda del instrumento MUSE en el VLT, que captó una sola línea de emisión, Lyman-alfa, con el perfil asimétrico típico de esa línea a alto corrimiento al rojo, fijando el redshift en $z = 4,442$. Pusieron la probabilidad de una alineación casual con un objeto de primer plano en 0,0076 %.
- Detectaron la luz ionizante que escapaba (continuo de Lyman) en una imagen profunda de Hubble F435W, el filtro que, a este corrimiento al rojo, ve solo la luz por debajo de 912 $\text{\AA}$ que cuenta como “escapada”. La detección está a 5,2-5,3 σ (sigma mide cuánto se sitúa una señal por encima del ruido esperado; 5 σ es un umbral estadístico muy estricto, no una prueba de que la interpretación sea verdadera; guía), comprobada contra el flujo en un millón de parches vacíos del cielo para asegurarse de que no era ruido.
- Descartaron la trampa clásica para este tipo de afirmación: que la luz “escapada” sea en realidad una galaxia de bajo corrimiento al rojo situada por azar delante, usando la forma resuelta de la fuente y una separación personalizada de una vecina tenue.
- Modelaron las estrellas de la galaxia ajustando todos sus colores de Hubble más JWST (con el código CIGALE y varios modelos de población estelar), lo que apuntó a un estallido reciente de formación estelar hace unos pocos millones de años.
- Modelaron cuánta luz ionizante habría absorbido el medio intergaláctico en el camino, sobre 10.000 líneas de visión simuladas, y combinaron todo para derivar la fracción de escape.

- Probaron, por primera vez tan atrás, una forma *indirecta* de detectar escape: la forma y extensión de la línea Lyman-alfa (su “fracción de halo”), contra la detección directa.

Qué encontraron

- El emisor de continuo de Lyman detectado directamente más distante hasta la fecha, en $z = 4,442$.
- Una detección real de la propia luz ionizante que escapa: no una inferencia, sino una señal en la imagen a $5,2-5,3\sigma$.
- Una fracción de escape alta, en el rango de 50-100 %, según los supuestos: grande, pero dependiente del modelo. (Una estimación *relativa* separada sube aún más, por encima del 100 %. Es una peculiaridad de cómo se define: compara la luz ionizante que escapa con el ultravioleta de la galaxia sin corregir primero por polvo; no es señal de que escape más luz de la que las estrellas producen.)
- Evidencia, a partir de la luz estelar ajustada, de que un estallido reciente de formación estelar impulsa tanto la producción como el escape de la luz ionizante.
- “Apoyo cauteloso”, en palabras de los autores, para usar la forma de la línea Lyman-alfa como trazador del escape a alto corrimiento al rojo.

Lo que esto no demuestra

- **No** identifica “las galaxias que reionizaron el universo”. Esta es una galaxia, y una situada unos 250 millones de años *después* de que terminara la reionización, no durante ella. Es un escalón hacia la era, no una imagen del evento.
- La fracción de escape **no** es una medición. Se reconstruye dividiendo la luz observada por una estimación *modelada* de la luz producida, y luego corrigiendo por una cantidad *modelada* de absorción intergaláctica; además, los autores adoptan deliberadamente una línea de visión favorable, porque una galaxia cuya luz filtrada nos llega debe estar en una dirección más clara que el promedio. El rango amplio (50-100 %, y más en términos relativos) es la firma honesta de esa dependencia del modelo.
- **No** valida el nuevo trazador Lyman-alfa. El “apoyo cauteloso” de un solo objeto es una primera prueba, no una confirmación.
- **No** resuelve por sí solo que la formación estelar a ráfagas impulsó la reionización. Es una interpretación razonable construida sobre una galaxia más el análisis del trazador, no una ley demostrada.

¿Qué solidez tienen las pruebas?

- **Fuerte** donde es directa: el corrimiento al rojo (una línea Lyman-alfa de forma distintiva, con 0,0076 % de probabilidad de contaminación por primer plano) y la detección de la luz que escapa

(5,2-5,3 σ , comprobada contra un millón de aperturas vacías, con la trampa del interloper de primer plano, la que antes ha deshecho afirmaciones de escape a alto redshift, cuidadosamente cerrada).

- **Más débil, y abiertamente, donde está modelada:** el *valor* de la fracción de escape (que depende del modelo estelar y de la línea de visión intergaláctica elegida), la “significación” para la reionización (un objeto, más interpretación) y el nuevo trazador (una primera prueba cautelosa).
- La honestidad del artículo está en sus rangos. Reporta intervalos en lugar de números únicos, llama “cauteloso” al apoyo para su trazador e incluso se niega a confiar en una de sus propias estimaciones de transmisión intergaláctica. Es un artículo cuidadoso que no se sobrevende; el riesgo de hype está por completo fuera.

Por qué importa

Las detecciones directas de luz ionizante que escapa han sido empujadas ya casi tan cerca de la era de reionización como pueden llegar: hasta el borde de donde la luz todavía, apenas, consigue atravesar. Eso ya vale algo por sí solo. Pero el resultado más silencioso puede importar más: una vez que estás *dentro* de la reionización, el método directo falla por completo, y todo descansa en trazadores indirectos calibrados sobre galaxias más cercanas y fáciles. Probar aquí uno de esos trazadores, donde todavía puedes compararlo con una detección real, es cómo te ganas el derecho a confiar en él más tarde, donde no puedes. El valor de MXDFz4.4 es menos “encontramos una galaxia que reionizó el universo” y más “estamos aprendiendo a leer la fuga, y empezando a revisar nuestros instrumentos para la oscuridad”.

En pocas palabras

Astrónomos que usan Hubble y el JWST han detectado directamente el ultravioleta ionizante que escapa de una sola galaxia a redshift 4,442: la detección de este tipo más distante hasta ahora, unos 250 millones de años después de que terminara la reionización cósmica. La detección en sí es sólida. La fracción de escape de 50-100 % que se citará mucho no fue medida sino reconstruida, mediante modelos de las estrellas de la galaxia y de la absorción intergaláctica a lo largo de una línea de visión deliberadamente favorable, por eso su rango es tan amplio. Junto con la detección, el equipo realizó la primera prueba a alto redshift de una forma indirecta de detectar luz que escapa, la forma de la línea Lyman-alfa, y encontró “apoyo cauteloso”. Es un resultado cuidadoso de un solo objeto: una captura real de la fuga, un número honestamente incierto asociado a ella y un primer paso hacia las herramientas que los astrónomos necesitarán cuando la fuga ya no pueda verse en absoluto.

Sin rodeos

Lo que muestra el artículo: Una detección directa, a $5,2-5,3\sigma$, de luz ionizante que escapa (continuo de Lyman) de una galaxia en $z = 4,442$, la detección de este tipo a mayor corrimiento al rojo hasta la fecha, con la trampa de contaminación por primer plano cuidadosamente descartada.

Lo que es plausible pero no está probado: Que la fracción de escape de la galaxia sea de 50-100 %. La detección es real; la fracción se reconstruye mediante modelos de población estelar y absorción intergaláctica (a lo largo de una línea de visión favorable), por eso abarca un rango tan amplio. También plausible pero no probado: que la forma de la línea Lyman-alfa funcione como trazador de escape tan atrás; el artículo ofrece “apoyo cauteloso” desde un objeto.

Lo que no muestra: Que esta sea una galaxia “que reionizó el universo” (está después de la era y es un solo objeto), ni que la formación estelar a ráfagas impulsara la reionización (una interpretación, no una demostración).

Limitaciones principales: Una muestra de uno; una fracción de escape que depende de elecciones de modelo y de una línea de visión deliberadamente clara; una primera prueba cautelosa del nuevo trazador; y la dificultad extrema de estudiar luz ionizante que escapa tan cerca de la era en la que se vuelve invisible.

¿Cuánta confianza debería tener un lector general? Alta en que la luz que escapaba fue detectada realmente, y en que esta es la captura más distante de este tipo hasta ahora. Baja a moderada sobre la fracción de escape exacta: trata “50-100 %” como un rango modelado, no como una medición. Moderada sobre el nuevo trazador: una primera comprobación prometedora, no una herramienta asentada.

Actualizaciones posteriores a la publicación

- **Corrección · 2026-07-28**

Tras la respuesta de Ilias Goovaerts, uno de los autores del artículo científico, el texto introduce ahora la luz ionizante desde el principio en lugar del ultravioleta en general, y deja explícito que solo el ultravioleta de longitud de onda corta —por debajo del límite de Lyman de 912 $\text{\AA}$ — es ionizante, mientras que el ultravioleta de longitud de onda mayor no es ionizante y se observa habitualmente en galaxias con alto corrimiento al rojo.

Fuentes

Goovaerts et al., arXiv:2603.04517 (accepted in The Astrophysical Journal)

<https://arxiv.org/abs/2603.04517>

The Astrophysical Journal (2026), DOI 10.3847/1538-4357/ae75b0

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae75b0>