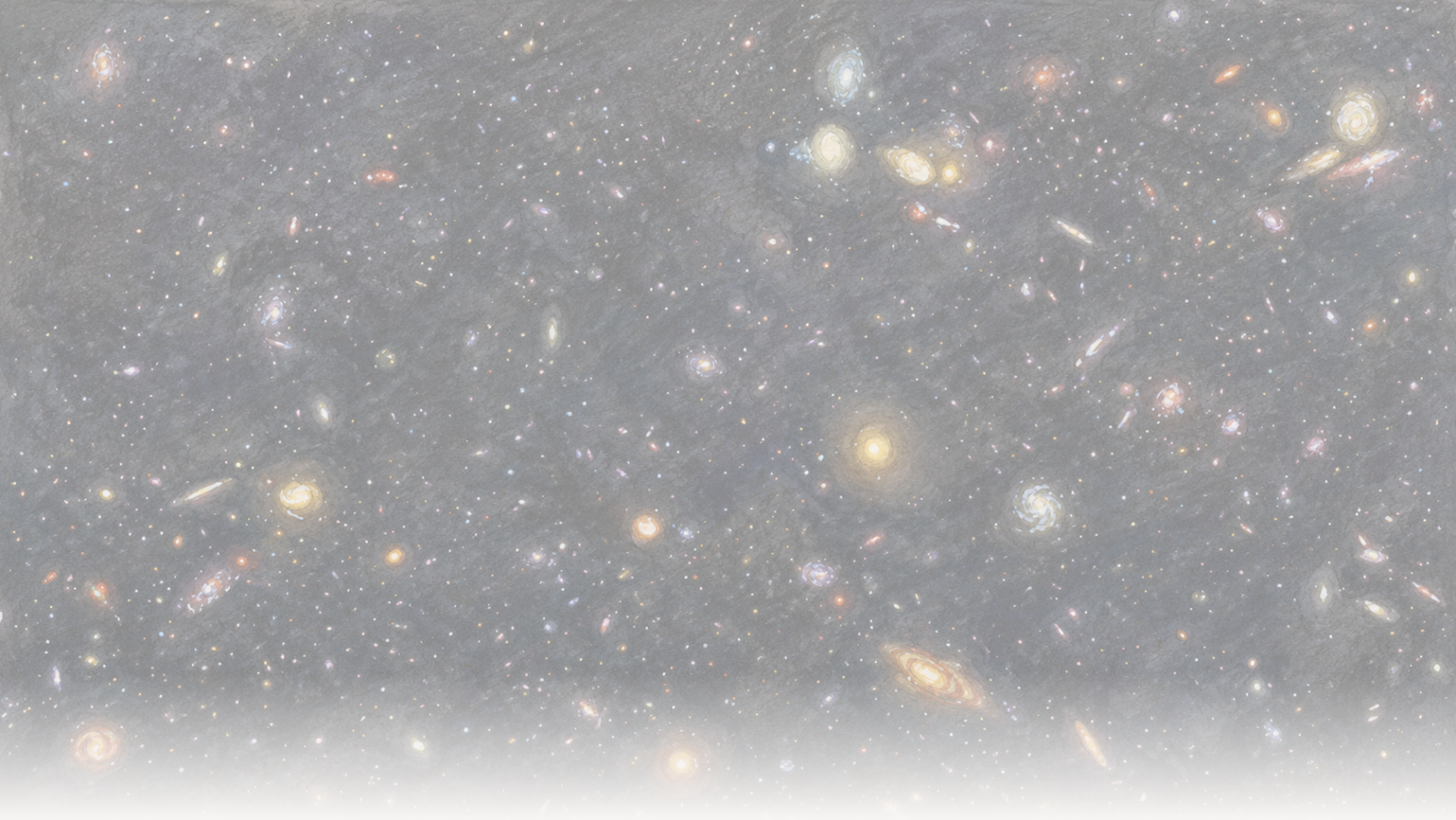


The Clean Paper

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

Най-далечната галактика, уловена досега да изпуска йонизиращата си светлина

Астрономи използваха JWST и Hubble, за да уловят излизащото йонизиращо ултравиолетово лъчение от една галактика около 250 милиона години след космическата рейонизация — най-далечното такова „изтичане“, наблюдавано директно. Често цитираният дял на изтичане от 50–100% е реален резултат, но е реконструиран чрез модели, а не измерен; по-тихият резултат е първи тест при високо червено отместване на начин да се разпознава изтичането, след като вече не може да бъде виждано директно.

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

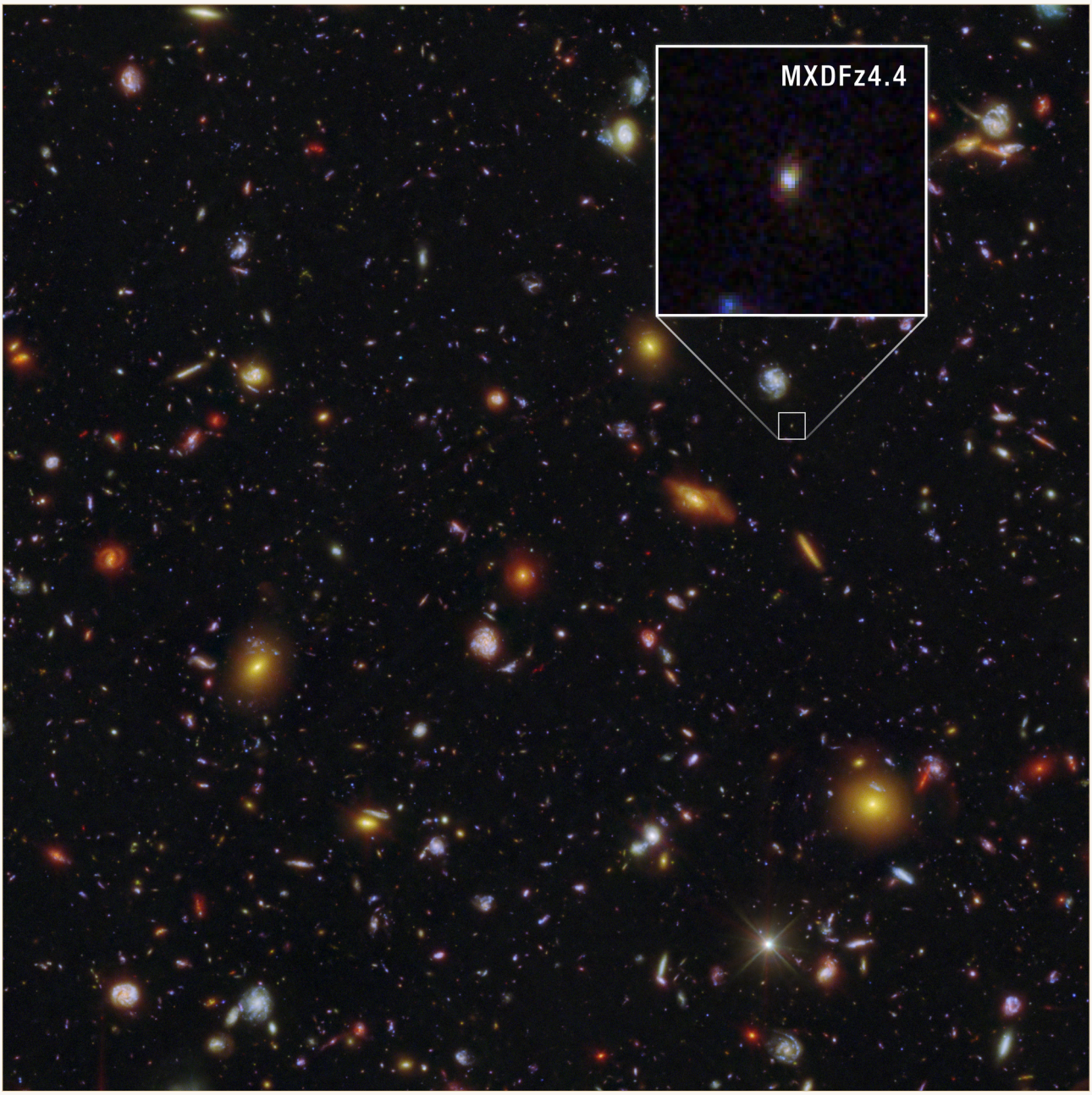
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M. 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

Светлината, която разчисти мъглата

През първите си няколкостотин милиона години Вселената е била непрозрачна. Пространството е било изпълнено с неутрален водород — атоми, към които електроните все още са прикрепени — а неутралният водород много добре поглъща *йонизиращия* ултравиолет: късовълнова светлина под 912 ангстрьома (*Лайманова*та *граница*), достатъчно енергична, за да изтръгне електрона от водородния атом. Не целият ултравиолет прави това — светлината с по-голяма дължина на вълната не се поглъща по същия начин и виждаме изобилие от нея от ранни галактики — така че младата Вселена е задържала конкретно тази йонизираща светлина. После, през следващия приблизително един милиард години, нещо залива космоса с достатъчно от нея, за да отдели електроните отново, йонизирайки водорода и позволявайки на светлината да пътува свободно. Астрономите наричат това епоха на рейонизация, а очевидните заподозрени са първите галактики: горещите, краткоживеещи звезди в тях излъчват огромно количество йонизиращ ултравиолет и ако достатъчна част е излизала в междугалактичното пространство, те са можели да свършат работата.

Проблемът е в думата *излизала*. Повечето йонизираща светлина на една галактика никога не напуска самата галактика — тя се поглъща от същия водород вътре в нея, който звездите се опитват да йонизират. Само определен дял изтича в пространството, а този дял, *escape fraction* или дял на изтичане, е най-трудното число за определяне в цялата история. Още по-лошо: по време на самата рейонизация изтеклата светлина е почти невъзможно да бъде уловена, защото междугалактичната мъгла, която тя помага да бъде разсеяна, я поглъща много преди да достигне до нас. Затова, за да изучават изтичането, астрономите трябва да гледат непосредствено *след* разсейването на мъглата — към галактики достатъчно близки до тази епоха, за да служат като нейни заместители.

Екип, ръководен от Ilias Goovaerts, сега е уловил това изтичане почти толкова назад във времето, колкото някога е било виждано. С дълбоки изображения от Hubble и JWST те съобщават за една слаба галактика — каталогизирана като MXDFz4.4 — чието излизащо йонизиращо ултравиолетово лъчение се вижда като петънце светлина в един филтър на Hubble. Галактиката е при червено отместване 4,442, приблизително 250 милиона години след края на рейонизацията: най-далечният директно открит „изпускател“ досега.



MXDFz4.4 (увеличена във вложката) е слабо петънце в това дълбоко поле от Hubble и JWST — най-далечната галактика, уловена досега директно да изпуска йонизиращото си ултравиолетово лъчение, наблюдавана около 250 милиона години след края на космическата рейонизация.

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

Числото, което най-вероятно ще се разпространи от тази статия, е делът на изтичане и той е висок — някъде между половината и цялата йонизираща светлина на галактиката. Това число е реално, но трябва да сме внимателни какво означава „реално“ тук. То не е отчетено директно от изображението; реконструирано е чрез верига от модели и диапазонът му е широк по основателна причина. По-полезната история има две части: какво една уловена теч може и не може да ни каже и един по-тих втори резултат — първият опит толкова назад във времето да се провери косвен начин за откриване на изтичането, преди деня, в който директният метод престава да

работи.

Какво е „дял на изтичане“ и защо е толкова трудно да се определи

Звездите — особено най-големите, най-горещите и най-младите — излъчват ултравиолет с достатъчно енергия, за да изтръгва електрони от водородните атоми. Астрономите го наричат йонизиращо лъчение или, при конкретните дължини на вълната, светлина от *Лайманови континуум*. Това е „валутата“ на рейонизацията: Вселената става прозрачна, когато достатъчно от тези фотони са освободени, за да поддържат междугалактичния водород йонизиран.

Но и галактиката е пълна с водород. Голяма част от йонизиращата светлина, която произвежда, се поглъща още преди да я напусне — изразходва се за йонизиране на собствения ѝ газ. *Делът на изтичане* е частта, която достига междугалактичното пространство, където реално може да подпомогне рейонизацията на по-широката Вселена. Това е сърцевината на целия въпрос и се измерва трудно по две причини.

Първо, по време на рейонизацията междугалактичната среда все още е пълна с неутрален водород, който поглъща точно светлината, която се опитвате да откриете — така че изтеклата светлина обикновено изобщо не достига до нас. Второ, дори когато *можете* да видите част от нея (точно след епохата, по необичайно чиста линия на зрение), превръщането на тази детекция в дял на изтичане изисква да разделите наблюдаваното на това, което галактиката е произвела — а произведеното също не може да се види директно. То трябва да се моделира от другата светлина на галактиката, изведената история на звездообразуване и допусканията за самите звезди.

Затова дяловете на изтичане имат широки граници на грешката и затова — когато трябва да се моделира и междугалактичното поглъщане — една и съща детекция може да подкрепя широк диапазон от отговори. Числото е реконструкция, не показание на уред.

Какво направиха авторите

- Потвърдиха разстоянието на галактиката с дълбока спектроскопия от инструмента MUSE на VLT, който улови една емисионна линия — Лайман-алфа — с асиметричния профил, типичен за тази линия при високо червено отместване, и фиксира червеното отместване на z = 4.442. Те оценяват вероятността за случайно подравняване с обект на преден план на 0,0076%.
- Откриха излизащата йонизираща светлина (Лайманов континуум) в дълбоко изображение Hubble F435W — филтърът, който при това червено отместване вижда само светлината под 912 ангстрьома, която се брои като „избягала“. Детекцията е при 5,2–5,3σ (sigma измерва колко над очаквания шум се намира сигналът; 5σ е много строг статистически праг, не доказателство, че интерпретацията е вярна — ръководство), проверена спрямо потока в един милион празни участъци от небето,

за да се уверят, че не е шум.
- Изключиха класическия капан при такъв тип твърдение — „излизащата“ светлина всъщност да е галактика с ниско червено отместване, случайно разположена отпред — чрез пространствено разрешената форма на източника и специално разделяне на слабо съседно петно.
- Моделираха звездите на галактиката, като напаснаха целия набор от цветове Hubble+JWST (с кода CIGALE и няколко модела на звездни популации), което сочи към скорошен изблик на звездообразуване преди няколко милиона години.
- Моделираха колко йонизираща светлина би погълнала междугалактичната среда по пътя, използвайки 10 000 симулирани линии на зрение, и комбинираха всичко, за да изведат дела на изтичане.
- За първи път толкова назад във времето тестваха *косвен* начин за разпознаване на изтичането — формата и пространствения обхват на линията Лайман-алфа (нейната „halo fraction“) — срещу директната детекция.

Какво откриха

- Най-далечният директно открит източник на Лайманов континуум досега, при z = 4.442.
- Реална детекция на самата излизаща йонизираща светлина — не извод, а сигнал в изображението при 5,2–5,3σ.
- Висок дял на изтичане, в диапазона 50–100% според допусканията — голям, но зависим от моделите. (Отделна *относителна* оценка е още по-висока, над 100%. Това е особеност на дефиницията — сравнява излизащата йонизираща светлина с ултравиолетовата светлина на галактиката, без първо да коригира за прах — не знак, че излиза повече светлина, отколкото звездите реално произвеждат.)
- Данни от напаснатата звездна светлина, че скорошен изблик на звездообразуване задвижва както производството, така и изтичането на йонизираща светлина.
- „Предпазлива подкрепа“, по думите на авторите, за използването на формата на линията Лайман-алфа като индикатор за изтичане при високо червено отместване.

Какво не доказва това

- То **не** идентифицира „галактиките, които са рейонизирали Вселената“. Това е една галактика и тя се намира около 250 милиона години *след* края на рейонизацията, не по време на нея. Тя е стъпало към епохата, не изображение на самото събитие.
- Делът на изтичане **не е измерване**. Той е реконструиран чрез разделяне на наблюдаваната светлина на *моделирана* оценка за произведената светлина, след което се прави корекция за *моделирано* междугалактично поглъщане — а авторите умишлено приемат благоприятна линия на зрение, защото галактика, чиято изтекла светлина достига до нас, по необходимост трябва да се намира в по-чиста

от средната посока. Широкият диапазон (50–100%, и още по-висок в относителни термини) е честният отпечатък на тази моделна зависимост.
- То **не** валидира новия индикатор Лайман-алфа. „Предпазлива подкрепа“ от един обект е първи тест, не потвърждение.
- То **не** установява само по себе си, че избликовото звездообразуване е задвижило рейонизацията. Това е разумна интерпретация, изградена върху една галактика плюс анализа на индикатора, не демонстриран закон.

Колко силни са доказателствата

- **Силни**, където резултатът е директен: червеното отместване (характерно оформена линия Лайман-алфа, с 0,0076% вероятност за замърсяване от преден план) и детекцията на излизащата светлина (5,2–5,3σ, проверена срещу един милион празни апертури, с внимателно затворен капан за случаен обект на преден план — причината, която преди е проваляла твърдения за изтичане при високо червено отместване).
- **По-слаби, и открито така**, където резултатът е моделиран: *стойността* на дела на изтичане (зависи от звездния модел и избраната междугалактична линия на зрение), „значението“ за рейонизацията (един обект плюс интерпретация) и новият индикатор (първи, предпазлив тест).
- Честността на статията е в диапазоните. Тя съобщава интервали вместо единични числа, нарича подкрепата за индикатора „предпазлива“ и дори отказва да се довери на една от собствените си оценки за междугалактичното пропускане. Това е внимателна статия, която не се продава прекалено; рискът от шум е изцяло извън нея.

Защо това има значение

Директните детекции на излизаща йонизираща светлина вече са изтласкани почти толкова близо до епохата на рейонизация, колкото е възможно — до ръба, където светлината все още едва успява да премине. Това само по себе си има стойност. Но по-тихият резултат може да е по-важен: когато влезем *вътре* в епохата на рейонизацията, директният метод напълно престава да работи и всичко опира до косвени индикатори, калибрирани върху по-близки и по-лесни галактики. Да тестваме един от тези индикатори тук, където все още можем да го сравним с истинска детекция, е начинът да спечелим право да му се доверим по-късно, когато няма да можем да проверяваме. Стойността на MXDFz4.4 е по-малко „намерихме галактика, която е рейонизирала Вселената“ и повече „учим се да разчитаме изтичането и започваме да проверяваме инструментите си за тъмното“.

Кратко и ясно

Астрономи с Hubble и JWST директно откриха йонизиращото ултравиолетово лъчение, излизащо от една галактика при червено отместване 4,442 — най-далечната такава детекция досега, около 250 милиона години след края на космическата рейонизация. Самата детекция е солидна. Често цитираният дял на изтичане от 50–100% не е измерен, а реконструиран чрез модели на звездите в галактиката и междугалактичното поглъщане по умишлено благоприятна линия на зрение, поради което диапазонът е толкова широк. Заедно с детекцията екипът прави първия при високо червено отместване тест на косвен начин за разпознаване на изтичащата светлина — формата на линията Лайман-алфа — и намира „предпазлива подкрепа“. Това е внимателен резултат от един обект: реално уловено изтичане, честно несигурно число, прикрепено към него, и първа стъпка към инструментите, от които астрономите ще се нуждаят, когато изтичането вече изобщо не може да се вижда.

Проверка без излишен шум

Какво показва статията: Директна детекция при 5,2–5,3σ на излизаща йонизираща светлина (Лайманов континуум) от галактика при z = 4.442 — най-високото червено отместване за такава детекция досега — с внимателно изключено замърсяване от обект на преден план.

Какво е правдоподобно, но не е доказано: Че делът на изтичане на галактиката е 50–100%. Детекцията е реална; делът е реконструиран чрез модели на звездната популация и междугалактичното поглъщане (по благоприятна линия на зрение), затова обхваща толкова широк диапазон. Също правдоподобно, но недоказано: че формата на линията Лайман-алфа работи като индикатор за изтичане толкова назад във времето — статията предлага „предпазлива подкрепа“ от един обект.

Какво не показва: Че това е галактика, „която е рейонизирала Вселената“ (тя е след епохата и е един-единствен обект), или че избликовото звездообразуване е задвижило рейонизацията (интерпретация, не демонстрация).

Основни ограничения: Извадка от един обект; дял на изтичане, зависим от избора на модели и умишлено чиста линия на зрение; първи, предпазлив тест на новия индикатор; и самата крайна трудност да се изследва излизаща йонизираща светлина толкова близо до епохата, в която тя става невидима.

Колко уверен трябва да бъде общият читател? Висока увереност, че излизащата светлина действително е открита и че това е най-далечната такава детекция досега. Ниска до умерена увереност за точния дял на изтичане — „50–100%“ трябва да се чете като моделиран диапазон, не като измерване. Умерена увереност за новия индикатор: обещаваща първа проверка, не установен инструмент.

Актуализации след публикуването

- **Поправка · 2026-07-28**

  След обратна връзка от Ilias Goovaerts, автор на статията, текстът вече въвежда йонизиращата светлина още в началото, вместо ултравиолетовата светлина като цяло, и уточнява изрично, че само късовълновият ултравиолет — под Лайманова граница от 912 ангстрьома — е йонизиращ, докато ултравиолетът с по-голяма дължина на вълната е нейонизиращ и рутинно се наблюдава от галактики с високо червено отместване.

Източници

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