

Кафявите джуджета не са нито звезди, нито планети, но са важни за астрофизиката и астробиологията

Светослав Александров

През октомври науката отпразнува точно 30 години от откриването на 51 Pegasi b, първата открита екзопланета около звезда от главната последователност. А през ноември отбелязваме още една тридесетгодишнина – от откриването на първото кафяво джудже Gliese 229B.

Кафявите джуджета са интригуващи обекти – те представляват междинно

Има едно нещо, което може да се каже със сигурност за нашата Вселена и то е, че тя е изключително разнообразна. Истината обаче е, че за голяма част от това многообразие научихме едва през последните три десетилетия. Роден съм през 1986-та година, когато все още не е била открита нито една извънслънчева планета (екзопланета) и всичко, което дотогава сме знаели за планетите, е било на базата на наблюдаваното в нашата собствена Слънчева система.

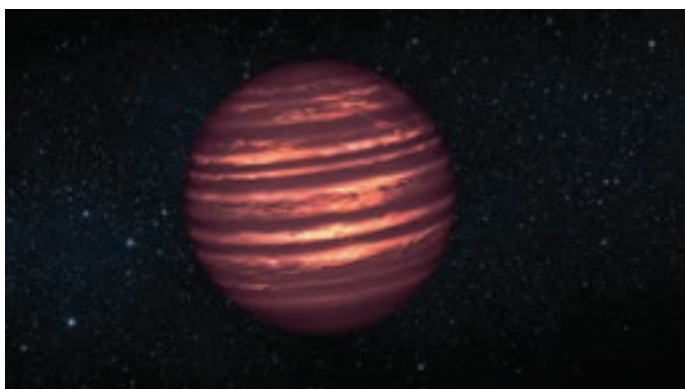
звено между звездите и планетите. Счита се, че се образуват по същия начин като звездите – при свиването на междувъзвездните облаци от газ и прах. Но за да може едно космическо тяло да се превърне в звезда, неговата маса трябва да е не

по-малка от около 80 юпитерови маси. Само тогава протичат термоядрените реакции, при които водородът се превръща в хелий. Кафявите джуджета

не успяват да натрупат толкова количество маса и съответно не могат да превърщат водород в хелий. Те са в състояние да поддържат термоядрени реакции, при които деутерият (изотоп на водорода с по-голяма маса) се превръща в хелий-3. За няколко милиона години обаче целият запас от деутерий бива изчерпан и съдбата на всички кафяви джуджета е сходна – те бавно, но постепенно изстихват.

Учените класифицират кафявите джуджета както звездите – на базата на абсорбционните линии и молекулни ивици в техните спектри, които са показател за температурите им. Най-горещи са кафявите джуджета от спектрален клас M (от около 2700°K до 2400°K), следват тези от спектрален клас L (2400 – 1300°K).

Важно е да се уточни, че не всички космически обекти от класовете M и L са кафяви джуджета – част от тях са звезди, в зависимост от способността си да превърщат водород в хелий. Тук се намират звездите от главната последователност с най-малките възможни маси, 0.08 – 0.5 M $\odot$ (слънчеви маси), чиито термоядрени реакции протичат изключително бавно и се счита, че биха могли да просъществуват над 100 милиарда години. Следват кафявите джуджета от спектрален клас L (1300 – 600° K), а най-хладни са тези от клас Y,



Илюстрация на кафяво джудже - NASA, ESA, Caltech



Сравнение между размерите на Слънцето, звезда с ниска маса, кафяво джудже, Юпитер и Земята. Илюстрация - NASA, ESA, SDO, NASA-JPL, Caltech, A.Simon (NASA-GSFC); Designer: E. Wheatley (STScI)

с температури по-ниски от 600° K (м.е. 327 °C). Всеки клас кафяви джуджета има и подклас (обозначаван с цифри), изразяващ по-прецизно температурите. За удобство в разговорния език между астрофизиците се използват и термините „ранни“, „средни“ и „късни“ (на англ. early, mid и late) – например джуджета L0-L3 са „ранни L-джуджета“, те са по-горещи, докато L7-L9 са „късни L-джуджета“, те са по-хладни, а между тях са „средните“. Нека не забравяме, че заради липсата на водороден синтез в ядрата



Илюстрация на кафяво джудже от T-клас. Image credit : R. Hurt/ NASA

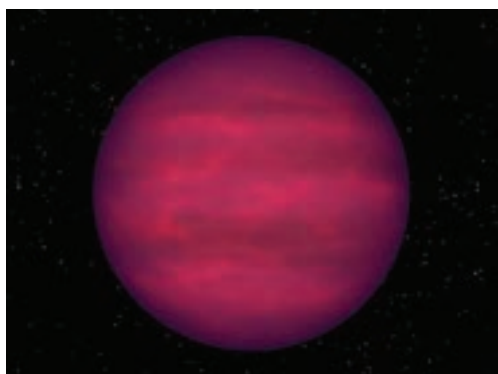
на кафявите джуджета, те започват да се охлаждат скоро след образуването си чрез излъчването на топлинна енергия (предимно в инфрачервената област на електромагнитния спектър), продукт от първоначалното им гравитационното свиване. На теория, след като изминат милиарди години, всички кафяви джуджета ще са изстинали дотолкова, че ще са се превърнали в Y-джуджета.

И ето защо кафявите джуджета са толкова интересни не само за астрофизиците, но също така и за тези от нас, които сме изкушени от дисциплината астробиология – колкото повече изстиват, толкова повече наподобяват планетите! Кафявите джуджета от спектрален клас M все още са твърде горещи и приличат на звезди, но при по-хладните в атмосферите се появяват облаци и климат. Атмосферите на L-джуджета съдържат прахови облаци, предимно изградени от силикатни и желязни частици, времето е бурно, наподобява това на екзопланетите от типа „горещи Юпитери“. По-хладните T-джуджета притежават атмосфери с ме-

тан, водни пари и въглероден окис, а облациите се изместват в по-ниските атмосферни слоеве, което означава, че горните слоеве са по-прозрачни. В атмосферите на Y-джуджета има облаци от вода и амоняк (наличието на амоняк е ключов признак, че джуджето е от Y-клас), като се предполага, че те съвсем наподобяват газовите гиганти като Юпитер и Сатурн. Вероятно климатът на Y-джуджета също прилича на

Юпитерианския, с облачни пояси и ясно изразени бури.

Един от основните проблеми при изучаването на екзопланетите, както подчертавам в статията „Открил ли е телескопът Джеймс Уеб доказателства за съществуването на фитопланктон на извънслънчевата планета K2-18b?“ (стр. 35) е, че ние много рядко ги наблюдаваме директно, съдим за тяхното съществуване на базата на косвени методи (например, пасажния метод) и анализът на техните атмосфери е изключително трудоемка задача, като често пъти нямаме увереност дали получените спектрални данни са показател за наличието на дадено вещество или са резултат от други фактори като променливостта на самата звезда. При кафявите джуджета този проблем отсъства. Макар и не винаги, кафявите джуджета обикновено са свободно реещи се обекти в космоса, без да обикалят около звезда. Нещо повече – ние може да ги откриваме директно, на базата на изображения от телескопи, най-вече тези, работещи в инфрачервения диапазон на



*Илюстрация на кафяво джудже от Y-клас.
Image credit : NASA/JPL-Caltech*

електромагнитния спектър. Независимо от названието им, за човешкото око тези небесни тела не биха изглеждали кафяви – по-горещите са тъмночервени, а по-хладните са с цвят маджента.

В астробиологията кафявите джуджета могат да са полезни по няколко начина. Първо, атмосферите им могат да съдържат молекули като вода и метан, които са основни за възникването на живота. Съответно, чрез изследването

на кафявите джуджета сме в състояние да научим повече факти за различните пътища, по които биват синтезирани структурните блокчета на живите организми. Второ, понеже кафявите джуджета са удобни за директни наблюдения, техните спектри могат да се използват за проверка и валидиране на моделите, които учените използват, за да разгадаят състава на атмосферите на извънслънчевите планети. И трето, кафявите джуджета сами по себе си са интересни обекти за издирването на органични молекули и съставките на пребиотичната химия и дори на живи организми. От една страна, около кафявите джуджета могат да обикалят планети, но от друга, не е изключено атмосферите на хладните Y-джуджета да са обитаеми. В своя статия от 2017 г. в *The Astrophysical Journal*, Yates и колеги (Jack S. Yates) твърдят, че Y-джуджета могат да притежават атмосферни обитаеми зони. Lingam и Loeb (Abraham Loeb, Manasvi Lingam) в друга статия за същото списание през 2019 г. надграждат предположението от Yates и твър-



*Метеорологични условия на кафяво джудже.
Илюстрация: NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (IPAC)*

дят, че светлината, излъчвана от кафявите джуджета, може дори да поддържа съществуването на фотосинтезиращи микроорганизми.

Разбира се, на този етап от човешкото познание това са непотвърдени хипотези. Все пак кафявите джуджета са далеч по-достъпни за изследвания и наблюдения в сравнение с извънслънчевите планети, така че проверката на тези хипотези вероятно ще е по-лесна задача в сравнение с търсенето на живот на екзопланети. От съществено значение е да бъдат открити колкото е възможно повече кафяви джуджета, особено хладните и най-трудни за намиране Y-джуджета. За постигането на тази цел са впрегнати множество усилия – на професионални учени, на любители астрономи и на изкуствения интелект.

През февруари 2017 г., навръх 87-годишнината от откриването на Плутон, НАСА положи началото на гражданския научен проект Backyard Worlds. Задачата на проекта бе да се провери дали във външните части на Слънчевата система, отвъд пояса на Кайпер, съществува

голяма планета – т.нар. Планета Девет. Професионалисти и любители, участващи в проекта започнаха своето търсене на базата на данни и изображения, получени от космическия телескоп на НАСА – WISE (съкр. от Wide-field Infrared Survey Explorer). Макар че нова планета в Слънчевата система така и не беше открита, благодарение на Backyard Worlds бяха намерени множество кафяви джуджета в близките космически околности.

Една от най-възбуждащите откривателски истории бе намирането на кафявото джудже WISEA J153429.75–104303.3, известно още като Инцигентът. Както самото име показва, този обект бе открит съвсем случайно, инцидентно, от изследовател на име Дан Каселген (Dan Caselden). Подобно на много други граждански изследователи на НАСА, той по образование не е астроном, астрофизик или астробиолог, а е от сферата на компютърните науки. Каселген е написал компютърна програма за издирване на обекти на базата на данни от телескопа WISE, като целта на програмата е да отсява по-близко разположените



Ето как учени си представят да изглежда животът в атмосферата на кафяво джудже. Илюстрация: Mark Garlick/Science Source

спрямо Слънчевата система кафяви джуджета от по-далечните звезди на базата на техните видими движения. Това е основният начин, по който кафявите джуджета биват откривани – понеже са много бледи и излъчват основно в инфрачервената област, те могат да бъдат наблюдавани от инфрачервените телескопи (напр. WISE) само ако се намират в близките космически околности – от няколко десетки до няколкостотин светлинни години от нас. Именно тази е причината, поради която и видимите собствени движения на кафявите джуджета са съществени. Един ден изследователят решава да използва програмата, за да проучи познат за науката кандигат за кафяво джудже, когато забелязва през екрана на компютъра да преминава друго, неизвестно готозава тяло. Последващият анализ показва, че Инцидентът е кафяво джудже от клас Y, с температури по-ниски от 500 K. През август тази година в престижното научно списание *Nature* излезе статия от Фахърти (Jacqueline K. Faherty) и колектив, съавтор на която е и Каселген, която разкрива, че спектърът на кафявото джудже съдържа метан, вода и силян (SiH_4).

В средата на 2023 г. бе даден ход на нов проект на НАСА, базиран на Backyard Worlds, наречен Cool Neighbors. Тъй като предходният проект е оптимизиран за намирането на външна планета в Слънчевата система, той не е особено подходящ за откриването на кафяви джуджета (тези открития се явяват странична дейност). Благодарение на предварителната селекция на изображенията на WISE посредством изкуствен интелект, проектът Cool Neighbors е оптимизиран да търси кафяви джуджета. Аз се включих към него в средата на 2023 година.



Гл. асистент г-р Светослав Александров работи в ИФРГ-БАН. Той проявява засилен интерес към астробиологията и търсенето на извънземен живот, в частност на фотосинтезиращи организми. Участва в граждански научни проекти на платформата Zooniverse. Съоткривател е на кафявото джудже CWISE J133605.65+505330.9 (Robbins G et al, 2025), на променливата звезда GOTO0650 (Killestein T et al, 2025) и на множество двойни звездни системи (Kostov V et al, 2025). За приноса си като съоткривател на множество нови астероиди в Слънчевата система, през август 2024 г. астероидът (91335) Alexandrov бе кръстен на негово име.

След дълга и упорита работа, през февруари тази година, излезе първият научен резултат от този проект и първото откритие на кафяво джудже. Научната статия е поместена на страниците на списание *Compendium of Undergraduate Research in Astronomy and Space Science* и тя е с вогещ автор Grady Robbins. Съоткривателите на джуджето CWISE J133605.65+505330.9 сме общо петима души и всичките сме вписани като съавтори на публикацията – това сме аз, Кледисон Маркос да Силва, Мартин Кабатник, Йорг Шууман и Кристофър Танър. Първоначалният анализ по-



Полярно сияние на кафяво джудже.

Илюстрация: NASA, ESA, CSA, Leah Hustak (Space Telescope Science Institute)

казва, че нашата находка представлява горещо тяло, вероятно ранно-L или късно-M кафяво джудже.

Работата по гражданския проект на НАСА Cool Neighbors продължава – през септември в списанието *Research Notes of the AAS* излезе втората статия от проекта с водещ автор Ив Ууд (Yves Wood), на която аз отново съм съавтор. В нея представяме нови 11 небесни тела, които представляват възможни кафяви джуджета или звезди с ниска маса. Това отново са горещи обекти от спектрални класове M и L, така че откриването на по-хладни тела от класовете T и Y предстои.

Откритията на нови кафяви джуджета са вълнуващи сами по себе си, но благодарение на космическия телескоп

„Джеймс Уеб“ научаваме множество нови факти и за вече откритите такива! Миналата година екип, ръководен от Джаклин Фахърти, публикува научна статия в *Nature*, според която на кафявото джудже от Y-клас CWISEP J193518.59-154620.3 са открити метанови емисии. Изследователите смятат, че данните са съвместими с наличието на полярни сияния! А на 26-ти септември тази година в *Astronomy & Astrophysics* бе публикувана статия за джуджето от T-класа SIMP-0136, в която бе представен първият подробен доклад за метеорологичните условия на свят извън нашата Слънчева система. Изследователите откриха облачни системи от горещи силикати, полярни сияния и химически изменения и топлинни инверсии в атмосферните слоеве на кафявото джудже. Подобни феномени и процеси се наблюдават и в атмосферите на газовите гиганти в Слънчевата система – Сатурн и Юпитер.

Опитът, натрупан от работата с кафяви джуджета, може да се приложи и при изследването на екзопланетите, така че очакваме през следващите години да започнем да научаваме повече новини за открития, касаещи екзопланетните атмосфери, с по-малко грешки и оспорвания на получените резултати. ■