

УДК 524.3-44

АКТИВНОСТЬ МОЛОДОЙ ЗВЕЗДЫ TOI 837 С ЭКЗОПЛАНЕТОЙ

© 2022 И. С. Саванов^{1*}¹Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

Поступила в редакцию 1 августа 2022 года; после доработки 5 сентября 2022 года; принята к публикации 7 сентября 2022 года

На основе высокоточного материала из архива космической миссии TESS проведено исследование фотометрической переменности блеска TOI 837 — молодой звезды с экзопланетой, члена скопления южного неба IC 2602. По всем доступным результатам наблюдений нами выполнены оценки периода вращения звезды и амплитуды переменности блеска, а также по стандартной методике оценена величина параметра запятненности A в абсолютной мере. Площадь пятен на поверхности TOI 837 составляет от 21 600 м.д.п. до 37 700 м.д.п. и существенно превосходит площадь пятен на Солнце. Оценки получены при значениях эффективной температуры звезды $T_{\text{eff}} = 6047$ К и радиуса $R = 1.022R_{\odot}$. Исследованы проявления вспышечной активности TOI 837 в интервале наблюдений в четырех секторах космической миссии TESS и рассмотрены две наиболее достоверные зарегистрированные вспышки. Энергии вспышек составляют 1.2×10^{35} эрг и 2.1×10^{35} эрг, а вероятное значение массы сопутствующего явления коронального выброса массы может достигать $10^{21.4}$ г. Мы оценили наиболее вероятную величину цикла активности TOI 837: она составляет 1500 суток (4.1 года). Отличительной особенностью TOI 837 b (как и других экзопланет возрастом менее 100 млн. лет) является то, что ее положение на диаграммах «радиус планеты—возраст» и «радиус планеты—период обращения планеты» не перекрывается с популяциями горячих юпитеров и субнептунов.

Ключевые слова: *звезды: активность — звезды: отдельные: TOI 837*

1. ВВЕДЕНИЕ

Boima et al. (2020) выполнили исследование TOI 837 b, планеты с радиусом 0.77 радиусов Юпитера, обращающейся с периодом 8^d:32 около молодой звезды TOI 837 (CPD-63 1435, 2MASS J10280898-6430189, TIC 460205581). Кинематика TOI 837 и наличие сильной линии поглощения лития подтверждают тот факт, что звезда является членом скопления южного неба IC 2602 (Boima et al. 2020). Как нами ранее указывалось (Savanov 2021), в таких молодых системах на физические и химические свойства формирующихся планет в значительной мере могут влиять все еще продолжающиеся процессы выпадения планетезималей, а также магнитная активность молодой звезды, которая проявляется в ее избыточном УФ- и рентгеновском излучении. Перечисленные факторы могут изменять физические свойства атмосфер близких планет, включая разрушение этих атмосфер. Полученные нами результаты изучения свойств планет в молодых системах найдут свое применение при сопоставлении со свойствами аналогичных более старых объектов. Как было указано в статье Savanov (2021), в литературе опубликованы итоги

исследования ZEIT — поиска «зодиакальных экзопланет во времени» по данным миссии K2 с целью изучения статистических свойств планетных систем в близлежащих молодых скоплениях, областях звездообразования и ассоциациях OB-звезд. Продолжением исследования ZEIT является проект TНУМЕ¹, который проводит поиск и дальнейший анализ характеристик транзитных планет в молодых звездных ассоциациях (10–20 млн. лет) и в близлежащих молодых движущихся группах (YMG) (возрастом менее 200 млн. лет) (см. в статье Boima et al. (2020) информацию об этих работах). В настоящее время уже опубликована восьмая по счету статья из серии публикаций TНУМЕ (Barber et al. 2022). Описание наших исследований активности звезд из объектов программ ZEIT и TНУМЕ можно найти в выполненных ранее работах (см., например, их краткий обзор в Savanov (2021)). Были изучены проявления пятенной и вспышечной активности объектов, а также на основании изучения диаграмм, связывающих площадь холодных пятен с возрастом, периодом вращения и числами Россби, сделан вывод о наличии общего характера зависимостей как установленных нами ранее для холодных карликов и звезд солнечного типа, так и для звезд с планетными системами. В настоящей

*E-mail: isavanov@inasan.ru

¹TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets.

работе представлены результаты анализа переменности блеска TOI 837 — молодой звезды с экзопланетой, члена скопления IC 2602 возрастом 35 млн. лет (Boima et al. 2020).

2. TOI 837 — МОЛОДАЯ ЗВЕЗДА, ЧЛЕН СКОПЛЕНИЯ IC 2602

Boima et al. (2020) опубликовали результаты исследования планеты у звезды TOI 837 (CPD-63 1435, 2MASS J10280898-6430189, TIC 460205581), члена скопления IC 2602. Звезда имеет массу $M = (1.118 \pm 0.059)M_{\odot}$, эффективную температуру $T_{\text{eff}} = 6047 \pm 162$ К, логарифм ускорения силы тяжести $\lg g = 4.467 \pm 0.049$ (данные приводятся согласно Boima et al. (2020)). Звезда принадлежит к карликам спектрального класса G0/F9 V, ее блеск в фильтрах *B* и *V* составляет $11^{\text{m}}12$ и $10^{\text{m}}64$ соответственно. Объект отождествлен с источником Gaia EDR3 5251470948229949568, его параллакс составляет $\pi(\text{mas}) = 7.0108 \pm 0.0124$. На основе анализа кинематических свойств, содержания лития и оценок периода вращения в статье Boima et al. (2020) подтверждено, что TOI 837 является членом скопления IC 2602. IC 2602 находится примерно в 150 пк от Земли и расположено вблизи плоскости галактики с (l, b) ($289^{\circ}6, -5^{\circ}0$). Этот объект также иногда называют скоплением θ Кия в честь его самого яркого члена, или «Южными Плеядами». В то время как IC 2602 близок к Нижней подгруппе Центавр—Крукс ассоциации Скорпиус—Центавр OB2 по положению и по собственному пространственному движению, его большой возраст и четкое кинематическое разделение указывают на то, что это отдельная звездная популяция (см. обсуждение и ссылки в работе Boima et al. (2020)). Оценки возраста IC 2602 лежат в интервале от 30 до 46 млн. лет. Основываясь на кривой блеска из архива миссии TESS и обновленных данных о звездных параметрах, Boima et al. (2020) получили оценки радиуса и орбитального периода планеты, которые составили 0.78 радиуса Юпитера и $8^{\text{d}}32$ соответственно. Отметим, что перечисленные выше параметры приводятся согласно данным, указанными в статье Boima et al. (2020), которые, помимо данных космической миссии TESS, использовали результаты миссии Gaia, наземной фотометрии El Sauce и ASTER 400, а также спектроскопии CHIRON, FEROS и Veloce.

Для TOI 837 в архиве TESS имеются данные четырех сетов наблюдений — 10, 11, 37 и 38. Наша обработка была аналогична проводимой ранее в случае измерений для других объектов из архива космического телескопа Кеплер и из архива наблюдений миссии TESS (см., например, Savanov

(2021)). На рис. 1 представлены кривые блеска TOI 837 по наблюдениям в секторах 10, 11, 37 и 38, соответствующие спектры мощности и фазовые диаграммы. Хорошо видна периодическая модуляция блеска с заметной переменностью амплитуды. В течение всех четырех сетов наблюдений звезда проявляла примерно одинаковую активность. На шкале времени порядка длительности наблюдений в одном секторе (около 30 суток) активность звезды претерпевала изменения в форме фазовой кривой и в положениях максимумов и минимумов.

На построенных нами спектрах мощности имеется характерный пик, соответствующий величине периода вращения звезды $P_{\text{rot}} = 2^{\text{d}}99 \pm 0^{\text{d}}08$ (погрешность оценена по полуширине пика). В работе Boima et al. (2020) была приведена величина периода вращения TOI 837, совпадающая с полученной нами: $3^{\text{d}}004 \pm 0^{\text{d}}053$. При этом на спектре мощности имеются пики в диапазоне, соответствующем половинному фотометрическому периоду вращения звезды, что свидетельствует о присутствии на поверхности звезды двух активных областей, отстоящих друг от друга примерно на 180° . На периодограмме, соответствующей наблюдениям в 37 секторе, этот пик является доминирующим по амплитуде, что, вероятно, свидетельствует о достаточно близких по размерам областях.

Амплитуда переменности блеска составляет 2.6%, 2.2%, 2.0% и 3.6% от уровня среднего блеска звезды для секторов 10, 11, 37 и 38 соответственно. По стандартной методике нами были оценены величины параметра запятненности TOI 837, которые достигают 2.4%–4.2% от площади поверхности звезды. Принимая оценку радиуса звезды $R = (1.022 \pm 0.083)R_{\odot}$ из работы Boima et al. (2020), можно получить величину площади ее запятненной поверхности A в абсолютной мере (в миллионных долях видимой полусферы Солнца, м.д.п.). На Солнце средние по размерам пятна составляют площадь 10–200 м.д.п. (детали см. в статье Nagovitsyn and Pevtsov (2021)). Площадь пятен на поверхности TOI 837 многократно превосходит максимальную площадь пятен на Солнце и имеет величину порядка 27 200 м.д.п., 23 300 м.д.п., 21 600 м.д.п. и 37 700 м.д.п. (для секторов 10, 11, 37 и 38 соответственно). Для сравнения укажем, что полная площадь пятен группы Greenwich 14886 8 апреля 1947 года составляла 6132 м. д. п. (Newton 1955).

3. ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Результаты широкого круга исследований, включающих анализ свойств вспышек у быстро и медленно вращающихся звезд, связи площади пятен звезд и энергий их вспышек, возможности

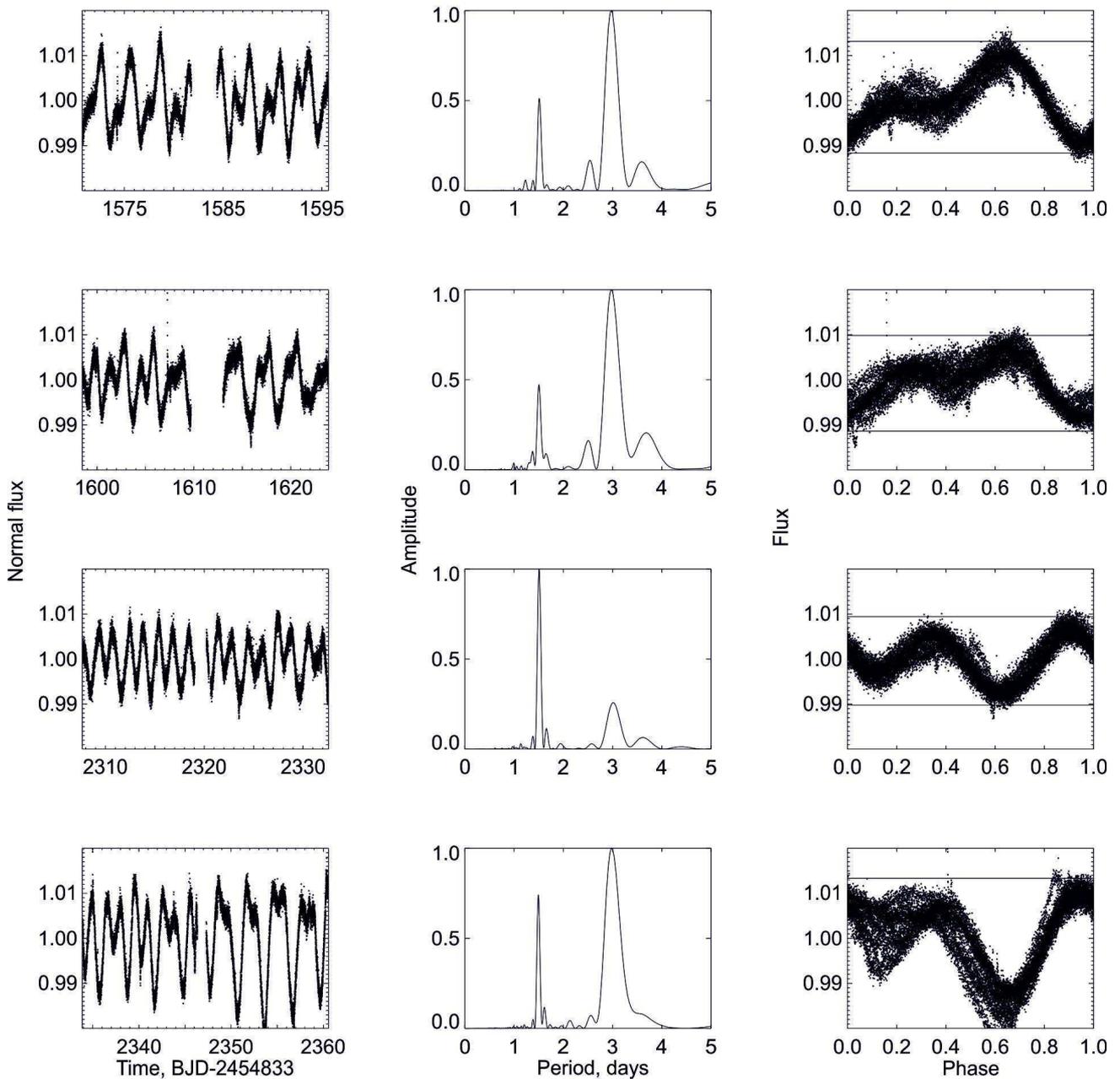


Рис. 1. Панели слева — кривые блеска TOI837. Ось абсцисс — BJD2454833+. Панели в центре — спектры мощности переменности блеска. Панели справа — фазовые диаграммы переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). Данные приведены для наблюдений в секторах 10, 11, 37 и 38.

супервспышек на Солнце, основанных на результатах наблюдений с космическими телескопами, можно найти в сериях статей Н. Maehara, Y. Notsu, N. Shibayama, опубликованных в разные годы. TOI837 входит в число немногих объектов с планетными системами, у которых обнаружены вспышки (см. Tu et al. (2021)). В работе Voita et al. (2020) на рис. 1 на кривой блеска красными крестиками отмечено несколько вспышек. На рис. 2 приводятся два фрагмента кривой со

вспышками, каждая из которых обладает структурой, характерной для вспышек звезд позднего спектрального класса: резкий подъем, пик, стадия затухания. Отметим, что на каждом из фрагментов также видны транзиты планеты. Мы ограничимся рассмотрением только двух наиболее достоверных вспышек, которые, несомненно, дают представление о свойствах вспышечной активности TOI837. Длительность подъема — 2–4 минуты, продолжительность вспышки равна

примерно $0.04-0.05$. Энергия излучения вспышек была вычислена нами по стандартной методике, принятой при анализе вспышечной активности звезд по наблюдениям с космическим телескопом Кеплер или миссией TESS (см. в Okamoto et al. (2021), Tu et al. (2021)). Данная методика уже неоднократно использовалась для определений энергетики вспышек звезд по наблюдениям миссии TESS с учетом изменения полосы пропускания для этой космической миссии (см., например, описание в статье Günther et al. (2020)). Как и в Günther et al. (2020), мы приняли, что вспышка характеризуется чернотельным излучением. Измеренная относительная энергия вспышки RE составила для двух рассматриваемых нами вспышек 10.9 с и 18.8 с соответственно. Вычисленная по формулам из Günther et al. (2020) энергия, излученная в первой вспышке, оказалась равной 1.2×10^{35} эрг, а во второй — 2.1×10^{35} эрг. Наличие дефектов и качество наблюдательного материала не позволяют с надежностью регистрировать другие, более слабые, вспышки (меньших энергий). Для сравнения укажем, что значения энергии солнечных вспышек составляют от 10^{27} эрг до 10^{32} эрг, а энергии вспышек красных карликовых звезд примерно в 10–1000 раз больше (Gershberg 2015, Günther et al. 2020).

Результаты одного из последних исследований вспышечной активности звезд солнечного типа представлены в работе Okamoto et al. (2021). Ими были рассмотрены звезды главной последовательности спектрального класса G с эффективной температурой в интервале 5100–6000 K, для которых имеются наблюдательные данные основной миссии Кеплер и каталога Gaia Data Release 2. В итоге Okamoto et al. (2021) представили данные о 2341 супервспышках у 265 звезд солнечного типа. На рис. 3 приведена диаграмма, связывающая энергии вспышек с площадью холодных пятен на поверхности изученных Okamoto et al. (2021) звезд. На рис. 3 вертикальная темная линия характеризует диапазон энергий вспышек TOI 837 и ее запятненность. Можно заключить, что вспышечная активность TOI 837 сопоставима или немного превосходит активность аналогичных объектов из работы Okamoto et al. (2021). Tu et al. (2021) изучили свойства 1272 вспышек 311 звезд по результатам наблюдений миссии TESS в северном полушарии. Принимая во внимание найденные нами величины периода вращения звезды, ее запятненность, длительность и энергию вспышек (вплоть до 2.1×10^{35} эрг), можно заключить, что положение, характеризующее TOI 837 на диаграммах «период вращения звезды–энергия вспышки» (рис. 5с в работе Tu et al. (2021)) и «энергия вспышки–ее

длительность» (рис. 9 в статье Tu et al. (2021)), хорошо согласуется с данными для других объектов, изученных этими авторами.

Следуя идее солнечно-звездной аналогии, явления корональных выбросов массы (coronal mass ejections, CME) можно ожидать и на других звездах. Основное воздействие звездных CME проявляется в сопутствующих возмущениях плотности и скорости плазмы, ускорении энергичных частиц в областях ударов. Все эти факторы следует принять во внимание при изучении эволюционных процессов экзопланет и их атмосфер. Планетарное влияние звездной активности CME может варьироваться в зависимости от возраста звезды, ее активности, спектрального типа и орбитального расстояния планеты. Для оценки свойств CME часто используется эмпирическая зависимость, связывающая энергию вспышки и массу CME (Aarnio et al. 2012). Первоначально зависимость, полученная Aarnio et al. (2012), была установлена по измерениям энергии вспышек в рентгеновском диапазоне спектра, поэтому, как и в статье Günther et al. (2020), мы будем использовать скорректированное соотношение, в котором рассматривается болометрическая энергия вспышки и масштабирующий множитель 100. Применение зависимости к данным для TOI 837 по наблюдениям миссии TESS привело к выводу о том, что для этой звезды вероятная величина массы CME может достигать $10^{21.4}$ г. Эта величина, как и энергия вспышек, превосходит характерные значения для Солнца.

4. ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Оценка возможных циклов активности TOI 837 была проведена по данным из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey². Всего было рассмотрено 1250 оценок блеска звезды в фильтре V. На основе построенного спектра мощности для TOI 837 можно предположить существование вероятных циклов активности в 1500 суток (4.1 года) и менее значимых циклов в 500 суток и 300 суток (рис. 4, нижняя диаграмма).

5. СРАВНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД TOI 837 И TOI 1726

Ранее на основе высокоточного материала из архива космической миссии TESS нами были представлены результаты детального анализа фотосферной и хромосферной активности молодого аналога Солнца, обладающего планетной системой — звезды HD 63433 (TOI 1726), члена движущейся группы звезд Ursa Major возрастом 414 млн. лет (Savanov 2021). Как и TOI 837,

²www.astrouw.edu.pl.asas

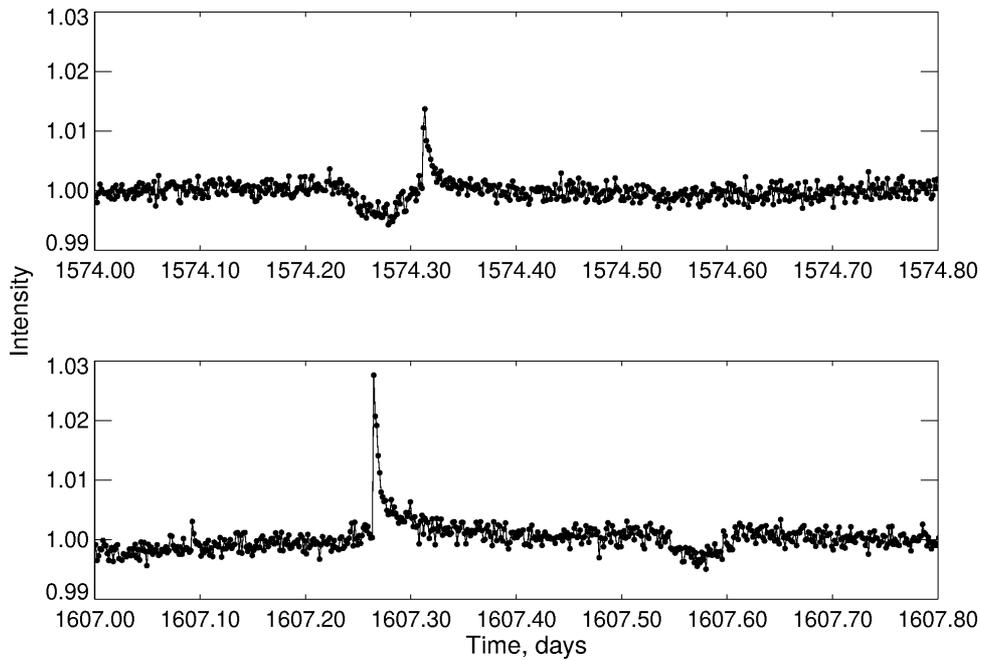


Рис. 2. Фрагменты кривой блеска TOI 837, содержащие вспышки (см. текст). На каждом из фрагментов также видны транзиты планеты. Ось абсцисс — BJD 2457000+.

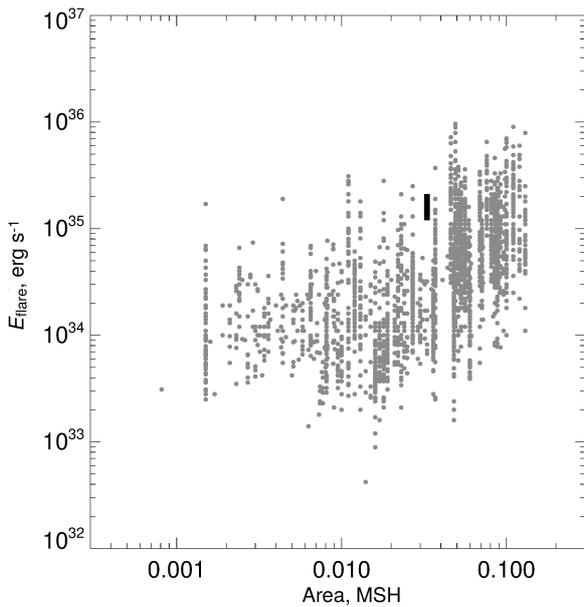


Рис. 3. Зависимость энергии вспышек от доли поверхности звезд с супервспышками, покрытой холодными пятнами. Светло-серые кружки — данные для изученных в работе Okamoto et al. (2021) звезд. Вертикальный темный отрезок характеризует диапазон энергий вспышек TOI 837 и ее запятненность.

TOI 1726 часто рассматривается как прототип молодого Солнца, а планетная система — прототип молодой Солнечной системы, однако следует иметь в виду, что температура фотосферы TOI 1726 составляет 5640 К, то есть эта звезда почти на

400 К холоднее TOI 837, а по возрасту почти на 380 млн. лет старше. Нами были изучены проявления активности этой звезды: по всем доступным результатам наблюдений мы выполнили оценку периода вращения и амплитуды переменности блеска, а также по стандартной методике оценили величины параметра запятненности A в абсолютной мере (Savanov 2021). Площадь пятен на поверхности HD 63433 существенно превосходит площадь пятен на Солнце и составляет 24 500 м. д. п. По проявлениям пятенной активности рассматриваемые звезды TOI 837 и TOI 1726 имеют умеренные различия. Площадь пятен на поверхности TOI 837 многократно превосходит максимальную площадь пятен на Солнце и лежит в интервале 21 600–37 700 м. д. п., а у TOI 1726 площадь пятен составляет 24 500 м. д. п. Величина периода вращения P_{rot} более молодого и более горячего объекта TOI 837 равна $3^{\text{д}}$, а TOI 1726 (объекта более старого и на 400 К холоднее) — $6^{\text{д}}47$. Наконец, имеется различие во вспышечной активности рассматриваемых звезд. В результате анализа данных у TOI 837 нами были исследованы две наиболее достоверные вспышки с энергиями 1.2×10^{35} эрг и 2.1×10^{35} эрг. У TOI 1726 за интервал наблюдений космической миссией TESS общей длительностью около 90 суток вспышки не были зарегистрированы. Оценки величин циклов активности TOI 837 были выполнены по данным из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey и указали на наиболее вероятный цикл

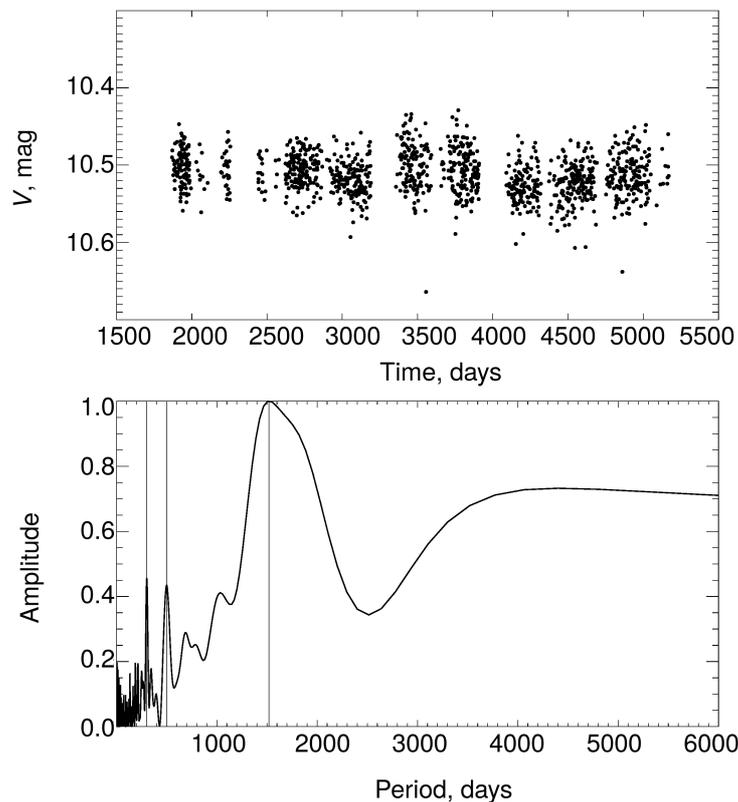


Рис. 4. (a) — кривая блеска TOI 837 по данным из архива наблюдений All Sky Automated Survey. Ось абсцисс — JD 2400000+. (b) — спектр мощности для диапазонов периодов 1–6000 суток. Вертикальными линиями отмечены циклы продолжительностью 300, 500 и 1500 суток.

активности в 1500 суток (4.1 года). Данных для TOI 1726 недостаточно для количественных оценок цикличности изменения блеска.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе высокоточного материала из архива космической миссии TESS проведено исследование фотометрической переменности блеска TOI 837 — молодой G0/F9 V звезды с экзопланетой, члена скопления южного неба IC 2602 возрастом 35 млн. лет (Boima et al. 2020). Полученные результаты сопоставлены с данными о другой изученной нами ранее молодой звезде солнечного типа с экзопланетой — TOI 1726, члене движущейся группы звезд Ursa Major возрастом 414 млн. лет. По всем доступным результатам наблюдений мы выполнили оценку периода вращения звезды ($P_{\text{rot}} = 2^{\text{d}}99 \pm 0^{\text{d}}08$) и амплитуды переменности блеска, а также по стандартной методике оценили величину параметра запятненности A в абсолютной мере. Площадь пятен на поверхности TOI 837 составляет 21 600–37 700 м. д. п. и существенно превосходит площадь пятен на Солнце. Исследованы проявления вспышечной активности

TOI 837 в интервале наблюдений в четырех секторах космической миссии TESS. Установлено, что для этой звезды две наиболее достоверные зарегистрированные вспышки обладают энергиями 1.2×10^{35} эрг и 2.1×10^{35} эрг, а вероятное значение массы сопутствующего явления коронального выброса массы может достигать $10^{21.4}$ г. По нашей оценке, наиболее вероятная величина цикла активности TOI 837 составляет 1500 суток (4.1 года).

TOI 837 входит в число уникальных систем возрастом менее 100 млн. лет, для которых имеются высокоточные космические фотометрические наблюдения и достоверные оценки возраста по принадлежности к звездному скоплению, ассоциации, движущемуся звездному потоку (в статье Boima et al. (2020), в разделе 5 приведена часть списка этих объектов). Из анализа диаграммы «размер—возраст планет» (см., например, верхнюю панель рис. 11 в работе Boima et al. (2020)) следует, что TOI 837 b принадлежит к числу самых молодых известных транзитных планет. На диаграмме «радиус планеты—период обращения» (нижняя панель того же рисунка в статье Boima et al. (2020)) отчетливо выделяется еще одна уникальная

особенность известных молодых планет возрастом менее 100 млн. лет: они не пересекаются с популяциями планет типа горячий юпитер или субнептун. Молодые планеты возрастом менее 100 млн. лет имеют размеры в диапазоне от $4.2R_{\oplus}$ (AU Mic b) до соответствующих или немного меньших, чем у Юпитера. Обсуждение этой особенности молодых планет приводится во многих литературных источниках (например, в статьях серии ТНУМЕ, в том числе в работе Bouma et al. (2020) и в цитируемой там литературе). Среди многих гипотез чаще всего обсуждаются две. Одна из них связана с наблюдательной селекцией (трудность наблюдений планет типа субнептун). Другая гипотеза предполагает, что известные планеты возрастом до 100 млн. лет в настоящее время окружены первичными атмосферами H/He и что они станут планетами размером с Нептун после процессов потери вещества атмосферой (см. также, например, ссылки в работе Bouma et al. (2020)). В этом случае, несомненно, более детальное развитие этой гипотезы будет связано с изучением проявлений активности родительской звезды планетной системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящей работе использовались сведения из астрономической базы данных SIMBAD и архива космической миссии TESS.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами» по гранту

Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. N. Aarnio, S. P. Matt, and K. G. Stassun, *Astrophys. J.* **760** (1), article id. 9 (2012).
2. M. G. Barber, A. W. Mann, J. L. Bush, et al., *Astron. J.* **164**, id. 88 (2022).
3. L. G. Bouma, J. D. Hartman, R. Brahm, et al., *Astron. J.* **160** (5), id. 239 (2020).
4. A. D. Costa, B. L. Canto Martins, J. P. Bravo, et al. *Astrophys. J.* **807**, article id. L21 (2015).
5. R. E. Gershberg, arXiv e-prints astro-ph:1508.00240 (2015).
6. M. N. Günther, Z. Zhan, S. Seager, et al., *Astron. J.* **159** (2), id. 60 (2020).
7. Y. A. Nagovitsyn and A. A. Pevtsov, *Astrophys. J.* **906** (1), id. 27 (2021).
8. H. W. Newton, *Vistas in Astronomy* **1** (1), 666 (1955).
9. S. Okamoto, Y. Notsu, H. Maehara, et al., *Astrophys. J.* **906** (2), id. 72 (2021).
10. I. S. Savanov, *Astrophysics* **64** (2), 178 (2021).
11. Z.-L. Tu, M. Yang, H. F. Wang, and F. Y. Wang, *Astrophys. J. Suppl.* **253** (2), id. 35 (2021).

Activity of the Young Star TOI 837 with an Exoplanet

I. S. Savanov¹

¹Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

Based on high-precision data from the archive of the TESS space mission, a study was made of the photometric brightness variability of TOI 837—a young star with an exoplanet, a member of the southern sky cluster IC 2602. Based on all available observational results, we have estimated the star's rotation period and brightness variability amplitude, and also estimated the absolute value of the spottedness parameter A using the standard method. The area of spots on the surface of TOI 837 is from 21 600 m. s. d. up to 37 700 m. s. d. and significantly exceeds the area of sunspots. The estimates were obtained for the effective temperature of the star $T_{\text{eff}} = 6047$ K and radius $R = 1.022 R_{\odot}$. The manifestations of the TOI 837 flare activity in the observation interval in four sectors of the TESS space mission are studied and the two most reliable flares recorded are considered. The flare energies are 1.2×10^{35} erg and 2.1×10^{35} erg, and the probable value of the mass of the accompanying coronal mass ejection may reach $10^{21.4}$ g. We have estimated the most probable value of the TOI 837 activity cycle: it is 1500 days (4.1 years). A distinctive feature of TOI 837 b (as well as other exoplanets less than 100 million years old) is that its position on the diagrams “planet radius—age” and “planet radius—period of the planet's rotation” does not overlap with populations of Hot Jupiters and sub-Neptunes.

Keywords: *stars: activity—stars: individual: TOI 837*