

УДК 52-14:524.338.3

ОТКРЫТИЕ НОВОЙ СИМБИОТИЧЕСКОЙ ЗВЕЗДЫ 2MASS J21012803+4555377

© 2025 А. М. Татарников^{1,2*}, А. А. Татарникова¹,
Н. А. Масленникова^{1,2}, А. В. Додин¹, М. А. Бурлак¹, А. А. Татарников¹

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

Поступила в редакцию 19 мая 2025 года; после доработки 24 июня 2025 года; принята к публикации 9 августа 2025 года

В настоящее время в Галактике известно чуть менее 300 симбиотических звезд. Методы популяционного синтеза предсказывают, что это количество должно быть в 10–100 раз больше. В последние годы в ряде работ были предприняты попытки найти кандидатов в этот класс переменных по результатам фотометрических обзоров. Регулярные спектроскопические наблюдения этих кандидатов могут увеличить число известных симбиотических систем. Мы приводим факты, подтверждающие симбиотическую природу 2MASS J21012803+4555377.

Ключевые слова: звезды: двойные: симбиотические — звезды: отдельные: 2MASS J21012803+4555377

1. ВВЕДЕНИЕ

Симбиотические звезды (С3) — подкласс взаимодействующих двойных звезд, которые состоят из красного гиганта и горячего компонента. В большинстве систем горячим компонентом является белый карлик или горячий субкарлик. Отбор кандидатов в этот класс переменных можно проводить разными методами (см., например, Akras, 2023, Rimoldini et al., 2023 и ссылки в них), однако окончательная классификация происходит по спектру. В нем должны наблюдаться полосы поглощения красного гиганта и эмиссионные линии, характерные для планетарных туманностей. В нашей Галактике на данный момент известно всего порядка 300 С3 (Akras et al., 2019a; Merc et al., 2019), что значительно меньше, чем предсказывают теоретические расчеты. Так, Lü et al. (2006) нашли, что только С3 с аккрецирующим белым карликом в качестве горячего компонента должно быть 1200–15 000, а, согласно Magrini et al. (2003), полное число С3 может превышать 4×10^5 . Поиск новых симбиотических звезд затруднен необходимостью проведения неоднократных спектральных наблюдений, так как у симбиотических звезд в спокойном состоянии эмиссионный спектр может быть очень слабым или отсутствовать.

В последние годы появились работы по выделению кандидатов в симбиотические звезды с

использованием методов машинного обучения по данным различных фотометрических обзоров, например Akras et al. (2019b), Rimoldini et al. (2023). Так, в работе Rimoldini et al. (2023) на основе фотометрических и астрометрических данных Gaia DR3 была впервые классифицирована как кандидат в С3 звезда 2MASS J21012803+4555377 (далее 2MASS J2101+4555 для краткости). До этого она считалась долгопериодической переменной с периодом около 486 дней (Heinze et al., 2018; Lebzelter et al., 2023).

Целью нашей работы является подтверждение симбиотической природы 2MASS J2101+4555 и оценка параметров этой системы.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Спектральные наблюдения с низким разрешением были проведены 11 и 15 января 2025 года на двухлучевом спектрографе TDS¹ (Potanin et al., 2020), установленном на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (КГО ГАИШ) (Shatsky et al., 2020). Использовалась щель шириной 1'', спектры регистрировались одновременно в *B*-канале (диапазон длин волн 360–577 нм, спектральная разрешающая сила $R = 1300$) и в *R*-канале (диапазон длин

*E-mail: andrew@sai.msu.ru

¹Transient Double-beam Spectrograph.

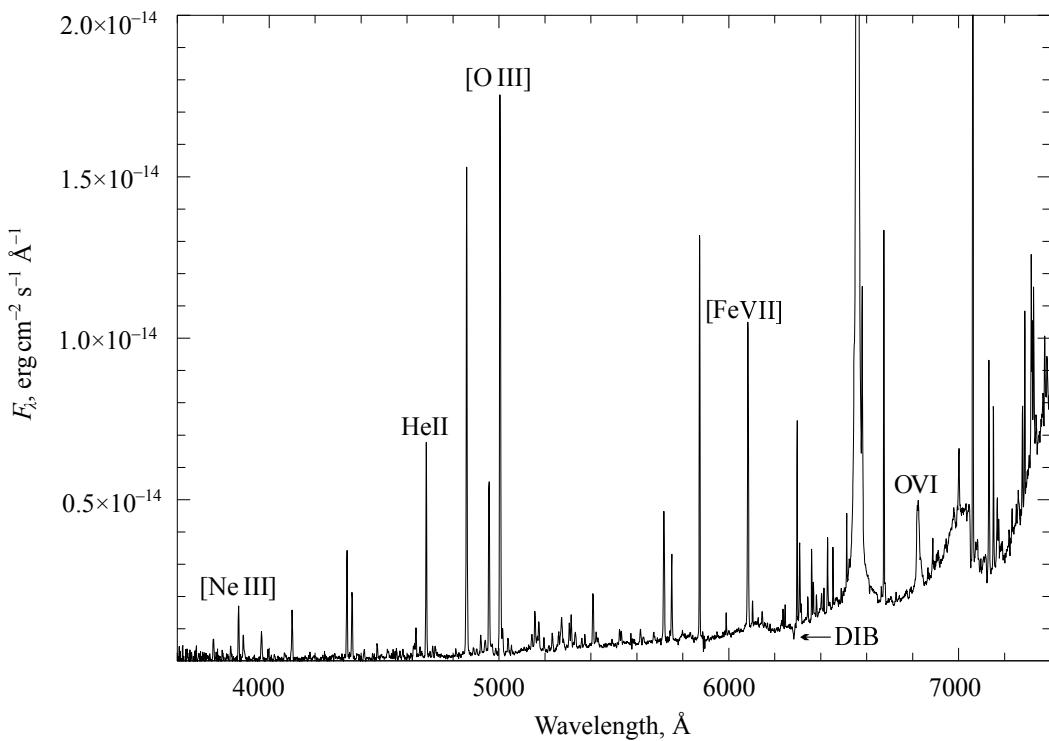


Рис. 1. Спектр 2MASS J2101+4555, полученный 11.01.2025 г. и нормированный по результатам фотометрии по полосе V ($V = 16^m 635$).

волн 567–746 нм, спектральная разрешающая сила $R = 2500$). Процедура первичной редукции описана в Dodin et al. (2020).

Наблюдения с прототипом нового спектрографа 2.5-м телескопа КГО ГАИШ с разрешающей силой $R \approx 20\,000$ были проведены также 11.01.2025. Достаточное для исследования значение S/N было достигнуто только в красной области спектра в районе линии $\text{H}\alpha$.

Фотометрические наблюдения были выполнены 12.01.2025 на 60-см телескопе RC600 КГО ГАИШ. Оценки блеска в полосах V , R_c и I_c были получены методом дифференциальной апертурной фотометрии и составили соответственно $16^m 635$, $14^m 056$ и $12^m 25$. В качестве вторичных стандартов использовались звезды поля с блеском 13^m – 14^m в полосе V , величины которых были взяты из каталога APASS (Henden et al., 2016).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведен спектр 2MASS J2101+4555, в котором четко выражены признаки симбиотической звезды. На фоне континуума холодного компонента с заметными молекулярными полосами (TiO $\lambda 7050$ и др.) наблюдается богатый эмиссионный спектр, включающий и линии с высокими потенциалами ионизации (He II, [Fe VII] и другие).

Также в спектре присутствует широкая эмиссионная особенность на длине волны 6825 \AA . Известно, что она связана с линией Рамановского рассеяния O VI (Schmid, 1989). Эта особенность к настоящему времени наблюдалась только у симбиотических звезд и является важным критерием, по которому их можно отдельить от звезд других типов (Akras et al., 2019a). Таким образом, 2MASS J2101+4555 должна быть классифицирована как симбиотическая звезда.

Помимо абсорбций, связанных с холодным компонентом, в спектре на рис. 1 заметны линии и полосы, связанные с межзвездным поглощением. Это, например, заметные DIBs на $\lambda 6284$ и $\lambda 5780$ и резонансный дублет Na I . Отметим, что DIB $\lambda 4430$ отсутствует, что, возможно, связано с недодержанным континуумом в этой области спектра.

По линии $\text{H}\alpha$ в спектре высокого разрешения была измерена лучевая скорость объекта: $V_r = -121.7 \pm 0.5 \text{ km s}^{-1}$. Профиль линии однокомпонентный и аппроксимируется профилем Фойгта с $FWHM = 3.1 \text{ \AA}$ (рис. 2).

На рис. 3 представлены кривые блеска, полученные Gaia с 2015 по 2017 г. в полосах Bp , G и Rp (Vallenari et al., 2023). Видно, что в полосе Bp заметных колебаний не наблюдается, тогда как на кривых в полосах G и Rp хорошо заметны колебания блеска с амплитудой около $1^m 5$ и расстоянием

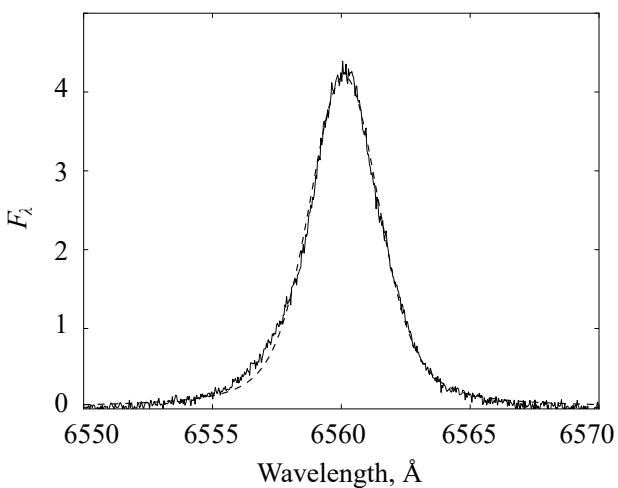


Рис. 2. Профиль линии $\text{H}\alpha$, приведенный к барицентру Солнечной системы, и профиль Фойта (штриховая линия).

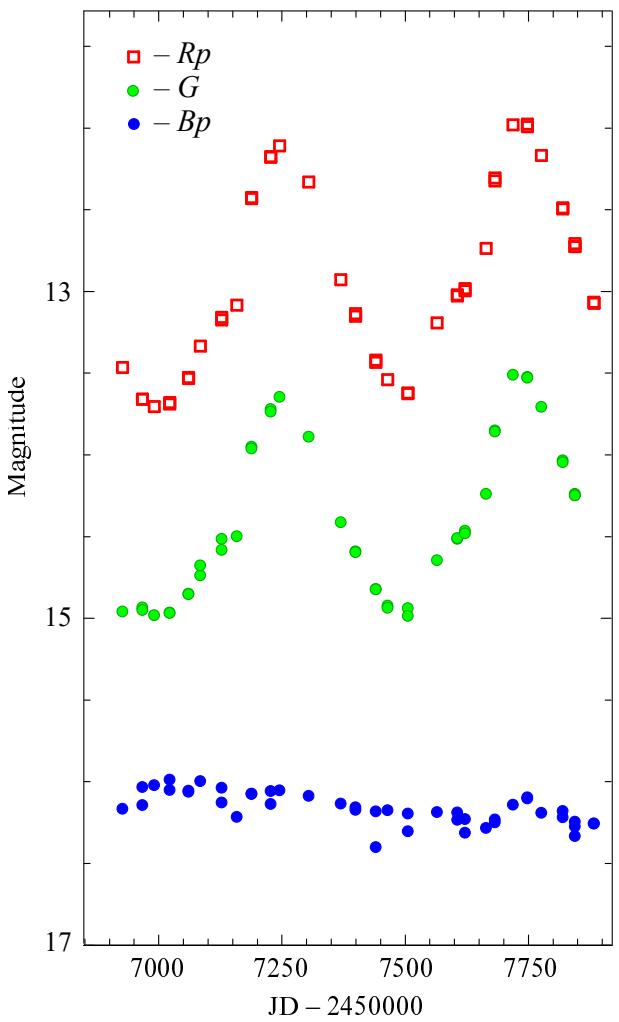


Рис. 3. Кривые блеска 2MASS J2101+4555 в полосах Bp (синие заполненные кружки), G (зеленые открытые кружки) и Rp (красные квадраты), по данным Gaia 2015–2017 гг.

между максимумами примерно 488^d . На восходящей ветви кривой присутствует ступенька (замедление увеличения блеска). Такая особенность на фазовой кривой наблюдается у некоторых мирид (см., например, Lockwood and Wing, 1971; Nadzhip et al., 2001; Fedoteva et al., 2020). Если принять, что 488^d — это период пульсаций холодного компонента, то он попадает в центр диапазона периодов, характерных для мирид. Однако у мирид амплитуда в видимом диапазоне должна быть не менее 2^m5 (Samus' et al., 2017) и может уменьшаться с ростом длины волны (Lockwood and Wing, 1971). Отсутствие колебаний блеска у 2MASS J2101+4555 в видимой области, вероятно, связано с доминированием излучения туманности (и, возможно, горячего компонента) в этом диапазоне, которое замывает также и полосы TiO (см. рис. 1). В красной области спектра влияние излучения туманности меньше, поэтому мы видим колебания блеска холодного компонента, хотя и с уменьшенной амплитудой.

Согласно Bailer-Jones et al. (2021), медианное фотогеометрическое расстояние до объекта равно 2812 пк (16%-ные квантили соответствуют 2312 и 3392 пк). Для такого расстояния в направлении объекта Green (2019) формально дает оценку $E(B-V) \approx 0.7$. Однако уменьшение расстояния до 2500 пк резко уменьшает оценку поглощения до $E(B-V) \approx 0.3$.

На рис. 4 представлено распределение энергии (SED) в спектре 2MASS J2101+4555, исправленное по закону Fitzpatrick (1999) за межзвездное поглощение с величиной $E(B-V) = 0.7$. Хорошо видно, что максимум излучения приходится на ИК-диапазон ($\lambda_{\text{max}} \sim 2$ мкм). Болометрический поток $F_{\text{bol}} = 5.7 \times 10^{-9}$ эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$. Поскольку большая часть энергии излучается в ИК-диапазоне, величина F_{bol} слабо зависит от принятого значения $E(B-V)$, и для расстояния 2.8 кпк светимость той части системы, что формирует наблюдающееся SED, будет равна $2130 L_{\odot}$. Эта величина характерна для С3.

Форма SED говорит о наличии значительно-го избытка ИК-излучения, связанного с плотной околозвездной пылевой оболочкой. Отношение потоков на рис. 4 на длинах волн, где излучением пыли допустимо пренебречь, позволяет оценить поглощение в оболочке: $\tau(1 \text{ мкм}) \sim 1.8$. Приняв, что закон поглощения в оболочке близок к межзвездному, можно получить оценку величины $E(B-V) \approx 1.3$ для поглощения в ней. Таким образом, суммарная величина избытка цвета составит приблизительно 2^m .

Наличие в спектре сильной линии $\text{He II } \lambda 4686$ говорит о высокой температуре горячего компонента системы. Если принять, что весь континуум вокруг линии формируется излучением

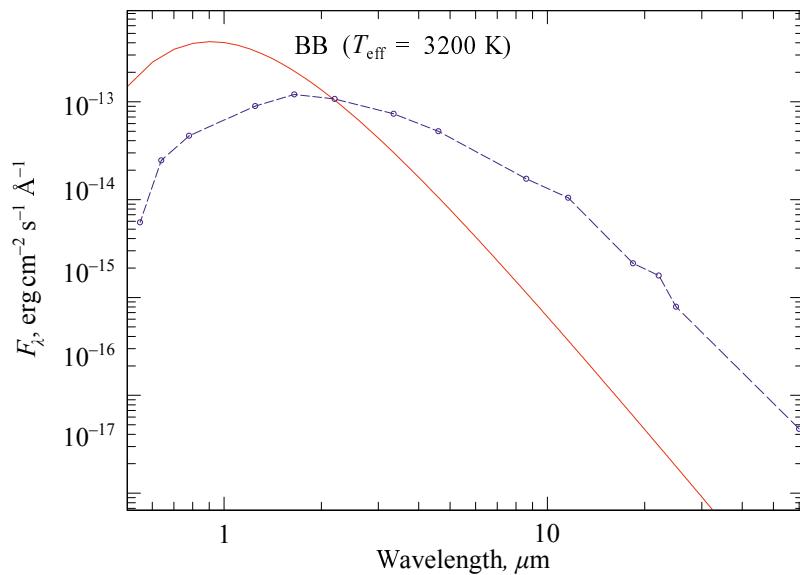


Рис. 4. Распределение энергии в спектре 2MASS J2101+4555, скорректированное за межзвездное поглощение с $E(B-V) = 0.7$ (синяя линия), и спектр абсолютно черного тела с $T_{\text{eff}} = 3200$ К с таким же болометрическим потоком (красная линия). Кружками представлены результаты нашей VR_cI_c -фотометрии, JHK_s -фотометрии из каталога 2MASS (Skrutskie et al., 2006), данные WISE (Wright et al., 2010), AKARI (Ishihara et al., 2010) и IRAS (Neugebauer et al., 1984).

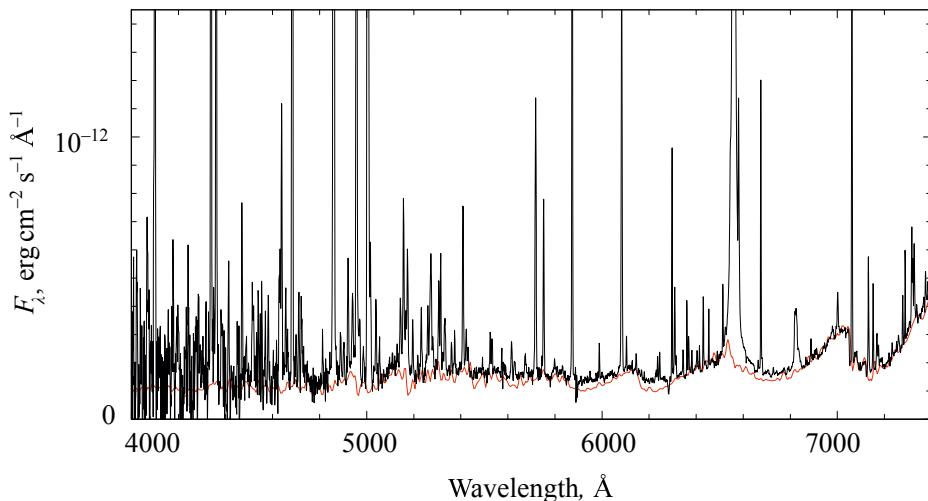


Рис. 5. Спектр низкого разрешения 2MASS J2101+4555, скорректированный за межзвездное поглощение и поглощение в околозвездной оболочке с суммарным $E(B-V) = 2$ (черная линия), и сумма излучения красного гиганта спектрального класса M5 III и газовой туманности с $T_e = 15\,000$ К в континууме (красная линия).

туманности, то эквивалентная ширина линии $EW(\text{He II}) = 250$ Å соответствует температуре горячего компонента $T_{\text{hot}} \approx 110\,000$ К (в случае В небулярной рекомбинации). Это можно считать нижней оценкой T_{hot} .

На рис. 5 показан спектр 2MASS J2101+4555, исправленный за поглощение с $E(B-V) = 2$ по формуле из Fitzpatrick (1999). Таким образом, мы учитываем как межзвездное поглощение, так и поглощение в околозвездной оболочке (допуская, что зависимость от длины волны близ-

ка к межзвездной). По голове молекулярной полосы $\text{TiO } \lambda 7054$ можно сделать вывод, что спектральный класс холодного компонента более поздний, чем M3. Мы попытались качественно описать вид континуума в оптическом диапазоне, используя сумму излучения стандартной звезды M5 III из Pickles (1998) и континуума туманности с $T_e = 15\,000$ К (излучением горячего компонента с $T_{\text{hot}} > 100\,000$ К в этой области спектра можно пренебречь). Из рисунка видно, что модельное распределение энергии удовлетворительно воспро-

изводит спектр 2MASS J2101+4555. Примерно такого же совпадения можно достичь с более холодным красным гигантом. При этом температура горячего компонента, определенная по $EW(\text{He II})$, меняется в зависимости от вклада холодного компонента в континуум на $\lambda 4686$ и увеличивается приблизительно до 140 000 К, если вклад холодного компонента в поток составляет 50%.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектр 2MASS J2101+4555 имеет все признаки, характерные для симбиотической звезды: молекулярные полосы поглощения TiO, яркие эмиссионные линии (H I, [O III], [Ne III], He II и др.), сильную линию Рамановского рассеяния O VI 6825 Å. Исправленное за межзвездное поглощение спектральное распределение энергии (SED) с максимумом излучения на 2.2 мкм и значительный избыток ИК-излучения (см. Рис. 4), в соответствии с классификацией, предложенной Webster and Allen (1975) и использованной позднее в каталогах Belczyński et al. (2000) и Akras et al. (2019a), позволяют отнести 2MASS J2101+4555 к симбиотическим звездам D-типа.

По спектру, полученному вблизи максимума блеска, были оценены физические параметры компонентов системы: спектральный класс холодного компонента — более поздний, чем M3 III; суммарная светимость источников, находящихся внутри пылевой оболочки и подпитывающих ИК-избыток, при расстоянии 2.8 кпк примерно равная $2130 L_\odot$; температура горячего компонента, оцененная по линии He II $\lambda 4686$, — не менее 110 000 К.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при использовании оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, а также ресурсов SIMBAD database (CDS, Страсбург, Франция) и ADS (NASA, США). В работе использованы данные, полученные миссией Gaia Европейского космического агентства (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), обработанные Консорциумом обработки и анализа данных Gaia (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). В публикации использованы данные WISE — совместного проекта Калифорнийского университета (Лос-Анджелес) и Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института, финансируемого NASA; 2MASS, являющаяся совместным проектом университета Массачусетса (США) и IPAC Калифорнийского технологического института, финансируемого NASA и NSF;

а также наблюдения спутника AKARI — проекта JAXA с участием ESA. Н. Масленникова благодарит за поддержку Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (аспирантский проект № 22-2-10-21-1).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа А. В. Додина (первичная обработка спектров низкого и высокого разрешения) и Н. А. Масленниковой (работа с данными каталогов, обработка спектральных наблюдений, анализ результатов) поддержана Российским научным фондом (грант № 23-12-00092).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Akras, Monthly Notices Royal Astron. Soc. **519** (4), 6044 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad096
2. S. Akras, L. Guzman-Ramirez, M. L. Leal-Ferreira, and G. Ramos-Larios, Astrophys. J. Suppl. **240** (2), article id. 21 (2019a). DOI:10.3847/1538-4365/aaf88c
3. S. Akras, M. L. Leal-Ferreira, L. Guzman-Ramirez, and G. Ramos-Larios, Monthly Notices Royal Astron. Soc. **483** (4), 5077 (2019b). DOI:10.1093/mnras/sty3359
4. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, et al., Astron. J. **161** (3), id. 147 (2021). DOI:10.3847/1538-3881/abd806
5. K. Belczyński, J. Mikołajewska, U. Munari, et al., Astron. and Astrophys. Suppl. **146**, 407 (2000). DOI:10.1051/aas:2000280
6. A. V. Dodin, S. A. Potanin, N. I. Shatsky, et al., Astronomy Letters **46** (7), 429 (2020). DOI:10.1134/S106377372007004X
7. A. A. Fedotova, A. M. Tatarskij, B. S. Safonov, et al., Astronomy Letters **46** (1), 38 (2020). DOI:10.1134/S1063773720010016
8. E. L. Fitzpatrick, Publ. Astron. Soc. Pacific **111** (755), 63 (1999). DOI:10.1086/316293
9. G. M. Green, E. Schlaflly, C. Zucker, et al., Astrophys. J. **887** (1), id. 93 (2019). DOI:10.3847/1538-4357/ab5362
10. A. N. Heinze, J. L. Tonry, L. Denneau, et al., Astron. J. **156** (5), article id. 241 (2018). DOI:10.3847/1538-3881/aae47f
11. A. A. Henden, M. Templeton, D. Terrell, et al., VizieR Online Data Catalog II/336 (2016).
12. D. Ishihara, T. Onaka, H. Kataza, et al., Astron. and Astrophys. **514**, id. A1 (2010). DOI:10.1051/0004-6361/200913811

13. T. Lebzelter, N. Mowlavi, I. Lecoeur-Taibi, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A15 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202244241
14. G. W. Lockwood and R. F. Wing, *Astrophys. J.* **169**, 63 (1971). DOI:10.1086/151118
15. G. Lü, L. Yungelson, and Z. Han, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372** (3), 1389 (2006). DOI:10.1111/j.1365-2966.2006.10947.x
16. L. Magrini, R. L. M. Corradi, and U. Munari, *ASP Conf. Ser.* **303**, 539 (2003).
17. J. Merc, R. Gális, and M. Wolf, *Research Notes Amer. Astron. Soc.* **3** (2), article id. 28 (2019). DOI:10.3847/2515-5172/ab0429
18. A. E. Nadzhip, A. M. Tatarnikov, V. I. Shenavrin, et al., *Astronomy Letters* **27**, 324 (2001). DOI:10.1134/1.1368702
19. G. Neugebauer, H. J. Habing, R. van Duinen, et al., *Astrophys. J.* **278**, L1 (1984). DOI:10.1086/184209
20. A. J. Pickles, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **110** (749), 863 (1998). DOI:10.1086/316197
21. S. A. Potanin, A. A. Belinski, A. V. Dodin, et al., *Astronomy Letters* **46** (12), 836 (2020). DOI:10.1134/S1063773720120038
22. L. Rimoldini, B. Holl, P. Gavras, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A14 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245591
23. N. N. Samus', E. V. Kazarovets, O. V. Durlevich, et al., *Astronomy Reports* **61** (1), 80 (2017). DOI:10.1134/S1063772917010085
24. H. M. Schmid, *Astron. and Astrophys.* **211**, L31 (1989).
25. N. Shatsky, A. Belinski, A. Dodin, et al., in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev, pp. 127–132 (IP Reshenilenko P. A., Pyatigorsk, 2020).
26. M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Stiening, et al., *Astron. J.* **131** (2), 1163 (2006). DOI:10.1086/498708
27. Vallenari et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **674** id. A1 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243940
28. B. L. Webster and D. A. Allen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **171**, 171 (1975). DOI:10.1093/mnras/171.1.171
29. E. L. Wright, P. R. M. Eisenhardt, A. K. Mainzer, et al., *Astron. J.* **140** (6), 1868 (2010). DOI:10.1088/0004-6256/140/6/1868

Evidence for the Symbiotic Nature of 2MASS J21012803+4555377

A. M. Tatarnikov^{1,2}, A. A. Tatarnikova¹, N. A. Maslennikova^{1,2}, A. V. Dodin¹, M. A. Burlak¹, A. A. Tatarnikov¹

¹Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

Just under 300 symbiotic stars are currently known in the Galaxy. Population synthesis methods predict that this number should be 10–100 times higher. In recent years, several works have attempted to find symbiotic candidates in photometric surveys. Regular spectroscopic observations of these candidates can increase the number of known symbiotic systems. We aim to verify the symbiotic nature of 2MASS J21012803+4555377.

Keywords: *stars: binaries: symbiotic—stars: individual: 2MASS J21012803+4555377*