

УДК 524-316.7.022-56:520.82/84

POST-AGB ОБЪЕКТ IRAS 07253–2001: ПУЛЬСАЦИИ, ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ БЛЕСКА И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

© 2023 Н. П. Иконникова^{1*}, М. А. Бурлак¹, А. В. Додин¹, А. А. Белинский¹,
А. М. Татарников^{1,2}, Н. А. Масленникова^{1,2}, С. Г. Желтоухов^{1,2}, К. Е. Атапин¹

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, 119234 Россия

Поступила в редакцию 15 апреля 2023 года; после доработки 31 мая 2023 года; принята к публикации 15 июня 2023 года

Наблюдения и всестороннее изучение как можно большего числа звезд промежуточных начальных масс, находящихся на поздних стадиях эволюции, в частности после прохождения ими стадии асимптотической ветви гигантов (AGB), крайне важны для выявления общих свойств звезд этого класса, а также для обнаружения среди них двойных объектов. Целью данной работы является исследование фотометрических и спектральных особенностей малоизученного кандидата в post-AGB звезды, инфракрасного (ИК) источника IRAS 07253–2001. В работе представлены новые данные многоцветной $UBVR_CI_C Y JHK$ фотометрии, полученные на телескопах Кавказской горной обсерватории, и анализ наблюдений из автоматизированного обзора всего неба для поиска сверхновых (All Sky Automated Survey for SuperNovae — ASAS-SN) этого объекта. Сообщается об обнаружении периодической мультичастотной переменности блеска звезды, вызванной пульсациями. Суперпозиция колебаний с основным периодом около 73 суток и близкими к нему — 68 и 70 суток — приводит к вариациям блеска с переменной амплитудой. Выделен также долговременный синусоидальный тренд блеска с периодом около 1800 суток. Мы предполагаем, что найденный период является орбитальным, а IRAS 07253–2001 представляет собой двойную систему. По спектральным данным низкого разрешения, полученным на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории в 2020 г. и 2023 г. в диапазоне длин волн 3500–7500 Å, проведено отождествление спектральных линий и создан спектральный атлас. В спектре обнаружены запрещенные эмиссионные линии [N II], [Ni II] и [S II], происхождение которых обсуждается. Линия $H\alpha$ имеет переменную двухпиковую эмиссионную компоненту. Получены предварительные оценки параметров звезды, и обнаружена переменность лучевой скорости с амплитудой около 30 км с⁻¹.

Ключевые слова: *звезды: AGB и post-AGB-звезды: эволюция — звезды: двойные — звезды: переменные — звезды: индивидуальные: IRAS 07253–2001*

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных задач в области изучения эволюции звезд промежуточных начальных масс ($1-8 M_{\odot}$) является исследование этих объектов на стадии перехода от AGB к планетарным туманностям. Эти звезды в результате масштабной потери массы во время тепловых импульсов на AGB-стадии поставляют в межзвездную среду продукты нуклеосинтеза, возникшие в результате их эволюции, и, наряду с остатками вспышек сверхновых, стимулируют дальнейший процесс развития своих галактик (Iben and Renzini, 1983).

Как выяснилось из наблюдений, подавляющее большинство объектов в постасимптотической (post-AGB) стадии эволюции являются переменными звездами. Тип переменности блеска зависит от температуры звезды, то есть от ее положения на горизонтальном эволюционном треке. Более холодные объекты пульсируют, причем, как правило, не на одной частоте (Sasselov, 1984; Arkhipova et al., 2010; Hrivnak et al., 2020), в то время как горячие показывают быструю (с характерным временем несколько суток или меньше) неправильную переменность, причиной которой могут быть вариации мощности звездного ветра, а также пульсации компактного ядра (Handler et al., 1997; Arkhipova et al., 2013). Кроме того, значительную

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

роль в проявлении фотометрической переменности *post*-AGB звезд играют вариации околосредного покраснения в неоднородных пылевых оболочках (Arkhipova et al., 2010; Hrivnak et al., 2022).

В настоящее время теория пульсаций звезд на поздних стадиях эволюции находится на этапе разработки. Трудность построения такой теории связана с тем, что для AGB и *post*-AGB звезд важными являются процессы конвекции и истечения вещества, которые трудно учитывать при расчетах (Fadeev, 2019). Пульсационные характеристики, полученные из наблюдений для как можно большего числа звезд, дают важную информацию для построения пульсационных моделей.

Немалую долю известных на сегодняшний день *post*-AGB объектов составляют двойные звезды (Van Winckel, 2003; 2007). Эти звезды на данном этапе эволюции не являются контактными системами, но они должны были подвергаться сильному взаимодействию в прошлом, когда главная звезда находилась на AGB и имела большие размеры (Van Winckel, 2017). Поэтому важно разделить двойные и одиночные объекты и рассматривать их отдельно при сравнении с теоретическими эволюционными моделями.

Среди 209 наиболее вероятных *post*-AGB объектов из каталога Szczerba et al. (2007) есть звезды, которые исследованы недостаточно полно. Одним из них является ИК-источник IRAS 07253–2001, который был включен в список кандидатов в *post*-AGB объекты García-Lario et al. (1990). Авторы впервые получили наблюдения звезды в полосах *JHK* и построили распределение энергии по этим данным, а также по данным спутника IRAS в диапазоне длин волн от 12 мкм до 60 мкм. В работе García-Lario et al. (1990) ИК-источник был ошибочно отождествлен с яркой соседней звездой HD 59049, тем не менее *JHK*-наблюдения относятся к IRAS 07253–2001, а не к HD 59049.

В дальнейшем объект попал в выборку возможных OH/IR мазеров (Blommaert et al., 1993), однако излучение на 1612 МГц не было обнаружено. Также не было найдено ни H₂O (Suárez et al., 2007), ни SiO мазера (Yoon et al., 2014), связанного с IRAS 07253–2001.

В работе Blommaert et al. (1993) источник IRAS 07253–2001 позиционируется как кислородный (O-rich) AGB-объект. Эта классификация была подтверждена Suh and Hong (2017), которые включили его в каталог O-rich AGB-объектов.

Reddy and Parthasarathy (1996) получили для IRAS 07253–2001 оценки блеска в *BVI*-полосах и спектр низкого разрешения. Авторы определили спектральный класс звезды — F5 Ie, и построили модель, в соответствии с которой распределение энергии в спектре звезды в диапазоне длин волн от

0.4 мкм до 100 мкм удовлетворительно представляется суммой излучения фотосферы с параметрами $T_{\text{eff}} = 7000$ K и $\lg g = 1.0$ и пылевой оболочки, нагретой до $T_d = 210$ K. При этом авторы указывают на наличие в системе как холодной, так и теплой пылевой оболочки. Звезда, по расчетам Reddy and Parthasarathy (1996), имеет полное поглощение в *V*-полосе $A_V = 2.1$, радиус $R_* = 54 R_{\odot}$, окружена пылевой оболочкой радиусом $R_d = 1.0 \times 10^5 R_{\odot}$ и находится на расстоянии $d = 10$ кпк. Suárez et al. (2006) по спектру низкого разрешения классифицировали IRAS 07253–2001 как сверхгигант F2.

Целью настоящей работы является исследование фотометрического поведения звезды, особенностей ее спектра и определение параметров на основе собственных и архивных наблюдательных данных. Здесь представлен анализ фотометрических и спектральных наблюдений звезды, полученных на телескопах Кавказской горной обсерватории Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (КГО ГАИШ МГУ), и фотометрических данных из обзора ASAS-SN. Сообщается об обнаружении фотометрической и спектральной переменности звезды, приводятся оценки ее параметров.

Полученные нами наблюдения показали, что оборудование, погодные условия, квалификация специалистов КГО ГАИШ МГУ позволяют получать данные хорошего качества по программе исследования *post*-AGB звезд и родственных им объектов, начатой более тридцати лет назад на телескопах Крымской астрономической станции ГАИШ МГУ.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

2.1. *UBVR_CIC*-фотометрия

Оптическая фотометрия звезды проводилась на 60-см телескопе системы Ричи–Кретьена (RC600) КГО ГАИШ МГУ. Телескоп оборудован комплектом фотометрических фильтров и ПЗС-камерой Andor iKon-L (2048 × 2048 пикселей, размер пикселя 13.5 мкм, масштаб 0".67 на пиксель, поле зрения 22' × 22'). Детальное описание телескопа и навесного оборудования можно найти в работе Berdnikov et al. (2020). Наблюдения проводились в режиме удаленного управления. Мы наблюдали IRAS 07253–2001 в течение четырех сезонов видимости объекта в период 2019–2023 гг. В каждую из 189 ночей было получено по 2–3 кадра в *UBVR_CIC* полосах.

В одну из фотометрических ночей (2 января 2020 г.) на близкой воздушной массе была снята площадка вторичных стандартов SA104 из работы Landolt (2009). Положения и фотометрия звезд

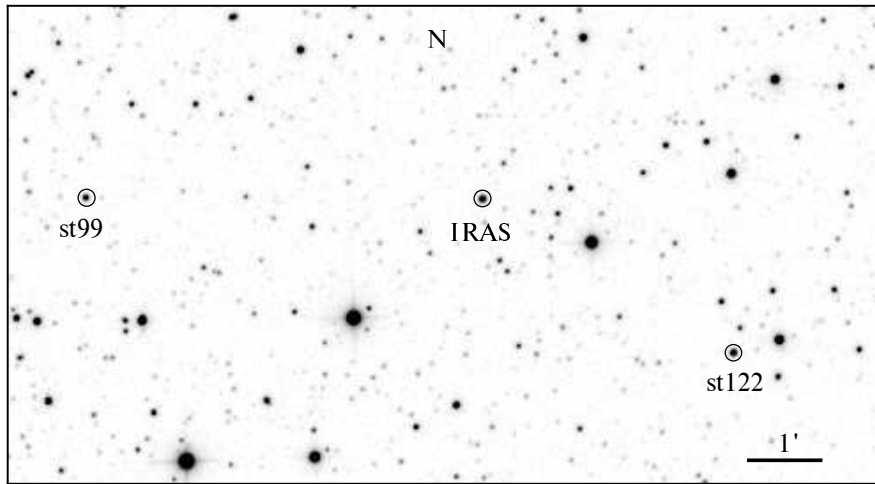


Рис. 1. Окрестности IRAS 07253–2001 в полосе V.

Таблица 1. $UBVR_C I_C$ -фотометрия звезд сравнения

Star	ID 2MASS	U	B	V	R_C	I_C
St99	07275650-2007120	14.598	14.243	13.466	13.051	12.641
St122	07271826-2009324	13.494	13.419	12.797	12.443	12.083

площадки, попавших в наше поле зрения, брались из базы данных Питера Стетсона¹. По звездам площадки были получены коэффициенты перевода инструментальной фотометрии в стандартную систему. Затем с этими коэффициентами мы получили значения всех достаточно ярких звезд с величинами $11^m.0$ – $14^m.5$ в полосе V в окрестности IRAS 07253–2001. По результатам обработки всех имеющихся наблюдательных данных для площадки IRAS 07253–2001 были выбраны звезды с блеском и цветами, сходными с IRAS 07253–2001, которые в дальнейшем использовались как звезды сравнения при дифференциальной фотометрии. Согласно базе данных ASAS-SN, у отобранных звезд не была обнаружена переменность на временном интервале около 4000 дней. На рис. 1 показано относительное расположение IRAS 07253–2001 и выбранных звезд. Их обозначение по каталогу 2MASS, а также полученные нами $UBVR_C I_C$ величины приведены в таблице 1.

Результаты обработки всех наблюдений IRAS 07253–2001 содержатся в таблице 2 (полностью таблица представлена в электронном виде²), где для каждой ночи получены средние по нескольким кадрам значения времени наблюдений и блеска в каждой фотометрической полосе. В

Таблица 2. $UBVR_C I_C$ -фотометрия IRAS 07253–2001 в 2019–2023 гг.

JD, 2400000+	U	B	V	R_C	I_C
58784.610	13.736	13.449	12.675	12.199	11.708
58785.617	13.698	13.479	12.676	12.207	11.699
58791.602	13.603	13.313	12.569	12.111	11.638
...

среднем среднеквадратичные отклонения составили: $\Delta U = 0^m.023$, $\Delta B = 0^m.007$, $\Delta V = 0^m.008$, $\Delta R_C = 0^m.010$, $\Delta I_C = 0^m.007$.

2.2. ИК-фотометрия

Наблюдения в ближней ИК-области проводились на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ с помощью камеры-спектрографа ASTRONIRCAM (Nadjip et al., 2017) в течение шести сезонов видимости в 2018–2023 гг. Для получения прямых снимков в полосах JHK -системы МКО–NIR (Mauna Kea Observatories Near-Infrared (Simons and Tokunaga, 2002; Tokunaga et al., 2002)), а в сезоны 2021–2023 гг. и в полосе Y, использовался режим дизеринга. За наведение в каждом фильтре получалось по 10–15 кадров. Первичная обработка, подробно описанная Tatarnikov et al. (2023), включала в себя коррекцию нелинейности и плохих пикселей, учет темнового тока, исправление

¹<https://www.canfar.net/storage/list/STETSON/Standards/L104>

²<http://lnfm1.sai.msu.ru/~davnv/iras07253/UBVRcIc.txt>

за плоское поле и вычитание фона. Далее проводилась апертурная фотометрия. В качестве звезды сравнения обычно мы использовали HD 59049 (A2 III/IV), сравнимую по яркости в ИК-диапазоне с IRAS 07253–2001 и попадавшую в поле зрения $4'6 \times 4'6$. Ее звездные величины в системе MKO–NIR ($Y = 9^m53$, $J = 9^m40$, $H = 9^m29$, $K = 9^m28$) были получены пересчетом величин 2MASS по формулам из работы Leggett et al. (2006). В сезон 2021–2022 гг. в некоторые ночи HD 59049 не попала в поле зрения. Тогда в качестве звезды сравнения мы использовали HD 59095 (A3 IV/V). Ее величины ($Y = 8^m52$, $J = 8^m42$, $H = 8^m37$, $K = 8^m37$) были получены аналогично, но скорректированы так, чтобы разности блеска с HD 59049 соответствовали наблюдаемому, когда в поле зрения попадали обе звезды сравнения. Результаты YJK -фотометрии представлены в таблицах 3 и 4. Величины рассчитаны как среднее для каждого наведения. Ошибки представляют собой среднеквадратичное отклонение, не включают погрешность величин звезд сравнения и составляют в среднем: $\Delta Y = 0^m009$, $\Delta J = 0^m014$, $\Delta H = 0^m015$, $\Delta K = 0^m013$.

2.3. Наблюдения по программе ASAS-SN

Для исследования фотометрического поведения звезды крайне полезными стали наблюдения по программе сети телескопов-роботов для автоматического поиска сверхновых ASAS-SN³ (Shappee et al., 2014; Kochanek et al., 2017).

В автоматическом обзоре ASAS-SN с 14 февраля 2012 г. по 25 мая 2018 г. (HJD = 2455972.9–2458264.5) было получено примерно 920 оценок блеска звезды в полосе V с точностью около 0^m02 . Начиная с 2018 г. наблюдения проводятся в полосе g . Для анализа мы использовали данные за период с 17 февраля 2018 г. по 19 апреля 2022 г. (HJD = 2458226.6–2459689.6). За этот интервал было получено более 580 оценок блеска с точностью около 0^m02 .

2.4. Спектральные наблюдения

Спектральные наблюдения IRAS 07253–2001 были проведены в 2020 г. и 2023 г. на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ с помощью нового Транзиентного Двухлучевого Спектрографа (ТДС) (Potanin et al., 2020). В качестве приемников использовались камеры Andor Newton 940P с ПЗС E2V CCD42-10 формата 512×2048 пикселей. Наблюдения проводились с длинной щелью шириной $1''0$, что позволяло обеспечить максимальное

Таблица 3. JK -фотометрия IRAS 07253–2001 в сезоне 2018–2021 гг.

JD, 2400000+	J , mag	H , mag	K , mag
58147.331	10.867	10.048	8.808
58151.340	10.893	10.079	8.852
58153.360	10.893	10.084	8.850
58156.296	10.911	10.102	8.899
58166.312	10.888	10.054	8.840
58180.248	10.892	10.077	8.834
58482.412	10.906	10.097	8.877
58486.395	10.901	10.097	8.872
58487.375	10.896	10.089	8.858
58489.350	10.885	10.097	8.848
58493.401	10.903	10.107	8.895
58504.439	10.848	10.079	8.905
58511.479	10.844	10.079	8.862
58863.360	10.901	10.105	8.870
58866.356	10.923	10.126	8.918
58867.410	10.912	10.126	8.923
58868.354	10.913	10.119	8.919
58869.371	10.899	10.122	8.924
58870.385	10.880	10.107	8.906
58871.349	10.891	10.100	8.906
58884.344	10.948	10.171	9.014
58891.351	10.895	10.081	8.920
58908.203	10.988	10.133	8.900
58909.272	10.981	10.135	8.867
58911.257	10.969	10.132	8.881
58914.269	10.907	10.068	8.851
58919.219	10.928	10.110	8.873
58920.283	10.927	10.102	8.863

спектральное разрешение, но ценой потери части света на щели при качестве изображения хуже $1''0$. Потери света на щели для объекта и стандарта могут быть разными, поскольку зависят от переменного во времени качества изображения и точности выставления звезд на центр щели. Поэтому получение потоков в абсолютных единицах с узкой щелью невозможно в используемой конфигурации прибора. Покрываемый спектральный диапазон $3500\text{--}7500 \text{ \AA}$. Достижимое спектральное разрешение: $R = 1300$ в диапазоне $3500\text{--}5720 \text{ \AA}$ (голубой канал) и $R = 2500$ в диапазоне $5720\text{--}7500 \text{ \AA}$ (красный канал). Журнал спектральных наблюдений представлен в таблице 5. На рис. 2 отмечены моменты получения нами спектров.

Вся обработка проводилась с использовани-

³All Sky Automated Survey for SuperNovae

Таблица 4. *УЖК*-фотометрия IRAS 07253–2001 в сезоны 2021–2023 гг.

JD, 2400000+	<i>Y</i> , mag	<i>J</i> , mag	<i>H</i> , mag	<i>K</i> , mag	JD, 2400000+	<i>Y</i> , mag	<i>J</i> , mag	<i>H</i> , mag	<i>K</i> , mag
59541.565	11.575	11.011	10.174	8.970	59656.210	–	11.020	10.152	8.939
59547.503	–	11.055	10.220	9.014	59679.203	–	10.990	10.148	8.960
59552.396	–	11.052	10.179	8.990	59890.542	–	10.905	10.095	8.931
59555.467	–	11.056	10.187	8.980	59892.544	–	10.916	10.107	8.956
59565.416	11.617	11.091	10.209	9.001	59895.546	–	10.929	10.116	8.966
59571.483	11.607	11.061	10.176	8.952	59899.598	–	10.904	10.098	8.934
59584.435	11.596	11.034	10.158	8.968	59912.470	–	10.933	10.118	8.938
59599.379	–	11.050	10.197	9.013	59915.440	11.425	10.941	10.124	8.949
59602.308	–	11.036	10.190	8.982	59922.458	11.407	10.907	10.081	8.877
59606.297	–	–	–	8.971	59930.432	–	10.913	10.079	8.896
59609.475	–	10.996	10.186	9.015	59945.519	–	10.895	10.087	8.886
59611.350	11.524	11.011	10.163	8.960	59953.477	11.385	10.900	10.102	8.938
59616.329	11.515	11.016	10.163	8.948	59954.384	11.391	10.903	10.105	8.938
59623.394	11.561	11.034	10.174	8.981	59958.394	11.386	10.907	10.092	8.923
59625.258	11.566	11.040	10.194	8.991	59962.366	11.354	10.881	10.071	8.887
59636.285	11.533	11.028	10.180	8.955	59980.331	11.357	10.873	10.068	8.908
59639.211	11.548	11.033	10.173	8.956	60000.243	11.413	10.942	10.119	8.930
59641.270	11.556	11.039	10.167	8.964	60012.281	11.433	10.947	10.065	8.922
59645.267	11.577	11.052	10.186	8.978					

Таблица 5. Журнал спектральных наблюдений

Дата	HJD 2450000+	T_{exp} , с	SNR^*	Стандарт
2020/01/18	8867.4	300 × 3	130	BD +25 4655
2020/12/14	9198.5	400 × 2	170	Feige 66
2023/01/06	9951.4	900 × 3	190	HIP 38789
2023/01/10	9955.4	1200 × 3	340	HIP 38789

Примечание: * — SNR — отношение сигнала к шуму в итоговом спектре в континууме в области 6000 Å.

ем собственных программ, написанных на языке Python. Редукция данных описана в статье Potanin et al. (2020). Хотя задача вычисления абсолютного потока от звезды не ставилась, более того, мы использовали нормированные на континуум спектры, тем не менее наблюдение звезд-стандартов необходимо для устранения из спектра узких деталей, связанных как с особенностями пропускания прибора, так и с полосами поглощения в земной атмосфере.

Для этого в наблюдениях 2020 г. использовали звезды из списка спектрофотометрических

стандартов Европейской южной обсерватории⁴. В наблюдениях 2023 г. в качестве стандарта мы использовали спектр звезды HIP 38789 спектрального класса A0 V, которая находится вблизи объекта, и спектр с $S/N \approx 500$ был получен непосредственно после наблюдений объекта.

По нормированному на континуум спектру были определены параметры звезды-стандарта (эффективная температура $T_{\text{eff}} = 9630$ К, ускорение силы тяжести $\lg g = 3.89$, металличность $[Me/H] = 0.14$ и скорость микротурбуленции $\xi_t = 2.0$ км с⁻¹) с помощью программы pySME⁵ (Piskunov and Valenti, 2017; Wehrhahn et al., 2023), при которых спектральные линии описываются с точностью лучше 1%.

Рассчитанный теоретический спектр путем интегрирования со стандартными кривыми пропускания фильтров⁶ приводился к абсолютному потоку по *V* фотометрии из базы данных SIMBAD, а по *B* фотометрии определялась величина межзвездного поглощения с использованием стандартной кривой межзвездного поглощения. Найденное значение $A_V = 0^m.21$ согласуется с отсутствием

⁴<https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra/stanlis.html>

⁵<https://pysme-astro.readthedocs.io/en/latest/>

⁶<http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/fps/>, Generic

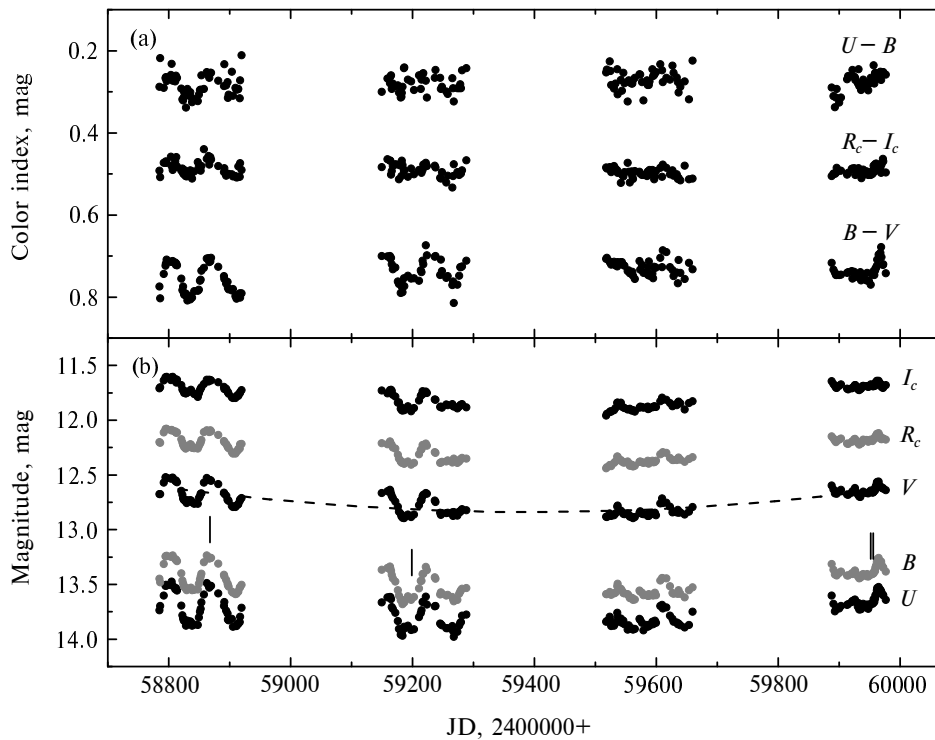


Рис. 2. Кривые показателей цвета (а) и блеска (б) по наблюдениям на телескопе RC600 в 2019–2023 гг. Штриховая линия представляет собой аппроксимацию данных в полосе V полиномом второй степени. Вертикальными штрихами указаны моменты получения нами спектров.

следов диффузных межзвездных полос поглощения в наблюдаемом спектре. Такой подход позволяет вычислить кривую пропускания попиксельно и скорректировать наблюдаемый спектр за линии поглощения в земной атмосфере при условии наблюдения на той же воздушной массе и при полном заполнении ширины щели светом звезды. Последнее условие связано с тем, что неравномерность освещения щели отражается на профилях линий; отличие формы профилей линий атмосферы при наблюдениях объекта и стандарта приведет к неполной их компенсации при делении на кривую пропускания и появлению остаточных артефактов в спектре. Похожий эффект будет наблюдаться, если между моментом получения спектров объекта и стандарта произошел сдвиг спектров по длинам волн из-за деформации прибора.

3. АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Анализ многоцветной фотометрии

На рис. 2 показаны кривые блеска в полосах $UBVR_CI_C$ и кривые показателей цвета $U-B$, $B-V$, R_C-I_C по нашим наблюдениям на телескопе RC600 за четыре сезона видимости звезды в 2019–2023 гг.

Видно, что звезда испытывает полуправильные колебания блеска в $UBVR_CI_C$ -полосах с переменной амплитудой на фоне долговременного тренда блеска. Максимальные амплитуды колебаний блеска наблюдались в первые два сезона и составили: $\Delta U = 0^m40$, $\Delta B = 0^m35$, $\Delta V = 0^m25$, $\Delta R_C = 0^m22$ и $\Delta I_C = 0^m19$.

Для частотного анализа данных применялась программа WINEFK⁷ В. П. Горанского, реализующая дискретное Фурье-преобразование для временных рядов с произвольным распределением наблюдений по времени (Deeming, 1975).

Поиск периода в полосе V после устранения тренда, который хорошо представляется полиномом второй степени, привел к значению для основного периода $P_0 = 73^d3$. После вычитания в программе WINEFK из наблюдаемой кривой блеска, сглаженной по фазам волны с периодом $P_0 = 73^d3$, был найден близкий к основному периоду $P_1 = 69^d8$. Этот результат хорошо согласуется с полученным по данным обзора ASAS-SN (см. ниже в Разделе 3.2).

В ближнем ИК-диапазоне нами были проведены наблюдения в течение шести сезонов за период

⁷<http://www.vgoranskij.net/software/WineFrusInstruction.pdf>

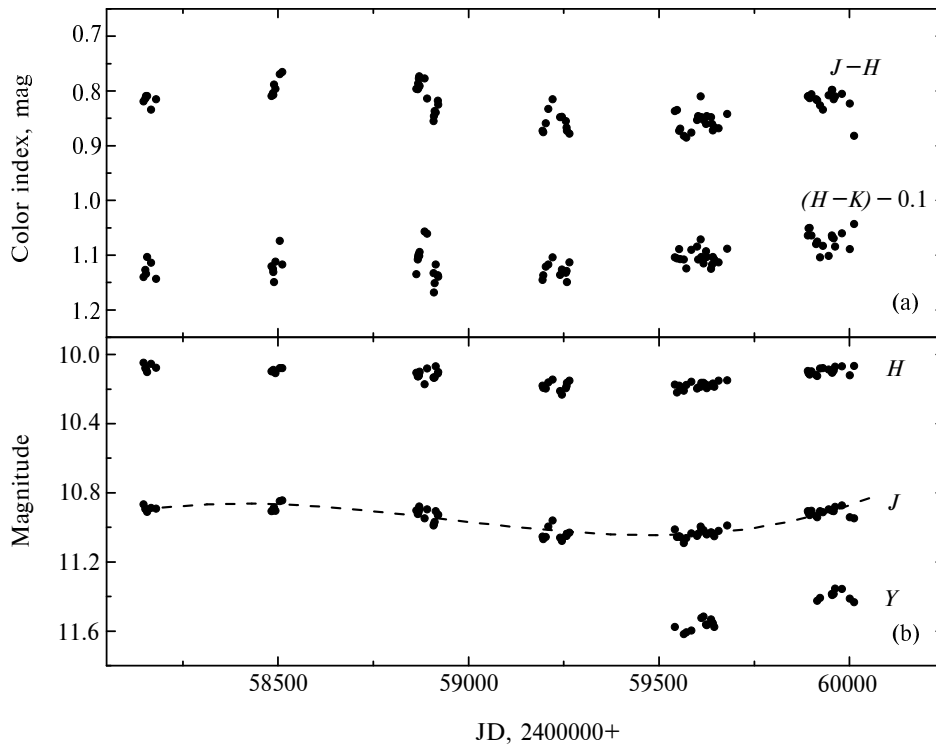


Рис. 3. Кривые блеска и показателей цвета в ближнем ИК-диапазоне в 2018–2023 гг. Штриховая линия представляет собой аппроксимацию данных в полосе J кубическим полиномом.

2018–2023 гг. На рис. 3 представлены кривые блеска в полосах J , H и Y и кривые показателей цвета $J - H$ и $H - K$.

Переменность блеска звезды внутри каждого сезона превышает ошибки измерений и составляет порядка 0^m15 в $YJHK$ -полосах. Наблюдений в ближнем ИК-диапазоне меньше, чем в оптическом, меньше и ожидаемая амплитуда пульсационных колебаний, поэтому по имеющемуся ряду данных выявить периодическую составляющую изменений блеска не удалось. Долговременный тренд блеска прослеживается хорошо и подобен тренду в оптическом диапазоне.

В первые два сезона оптических наблюдений, когда периодические колебания проявились более выражено, прослеживалась четкая зависимость между блеском и показателями цвета ($B - V$) и ($R_C - I_C$) (рис. 4): звезда становится более красной при ослаблении блеска, что свидетельствует об изменении ее температуры во время пульсаций. Для показателя цвета ($U - B$) в первый сезон (черные точки) корреляция с блеском выражена слабее, а во второй (серые точки) — практически отсутствует. Видно также, что в 2020–2021 гг. (серые точки) средний уровень блеска во всех полосах понизился, тогда как среднесезонные значения показателей цвета не изменились.

3.2. Поиск периодичности по данным ASAS-SN

Предварительный анализ фотометрических данных показал, что блеск звезды испытывает квазипериодические колебания. Для поиска периода мы использовали плотные ряды данных в полосах V и g автоматического обзора ASAS-SN (рис. 5).

После снятия тренда, который удовлетворительно представляется полиномом второй степени, мы применили Фурье-преобразование и метод *отбеливания* — вычитание из наблюдаемой кривой блеска сглаженной по фазам периодической волны. В результате из кривой блеска в полосе V за 2012–2018 гг. было выделено три периодических компонента: основной период $P = 73^d0$, после поэтапного отбеливания — $P = 67^d8$ и $P = 43^d1$. По наблюдениям в полосе g за 2018–2022 гг. аналогичным методом были получены: основной период $P = 73^d4$ и после отбеливания близкие значения — $P = 69^d9$ и $P = 66^d4$, а также $P = 44^d8$. На рис. 6 показаны амплитудные спектры в диапазоне периодов 10–100 суток для основных периодов $P = 73^d0$ и $P = 73^d4$, полученных по наблюдениям в полосах V и g соответственно, и фазовые кривые, свернутые с этими периодами. Максимальные амплитуды колебаний составляют $\Delta V = 0^m3$ и $\Delta g = 0^m35$.

Обнаруженная нами переменность блеска IRAS 07253–2001 типична для сверхгигантов

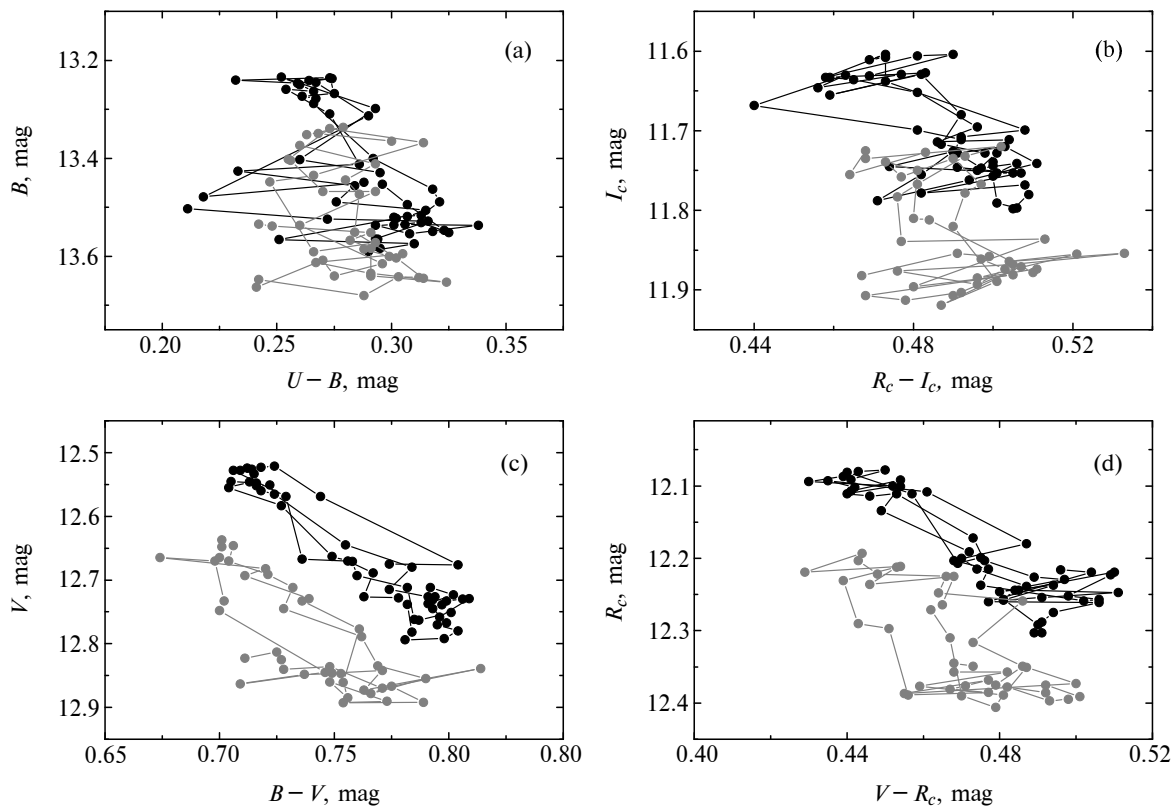


Рис. 4. Диаграммы «цвет – блеск» по наблюдениям 2019–2020 гг. (черные точки) и 2020–2021 гг. (серые точки).

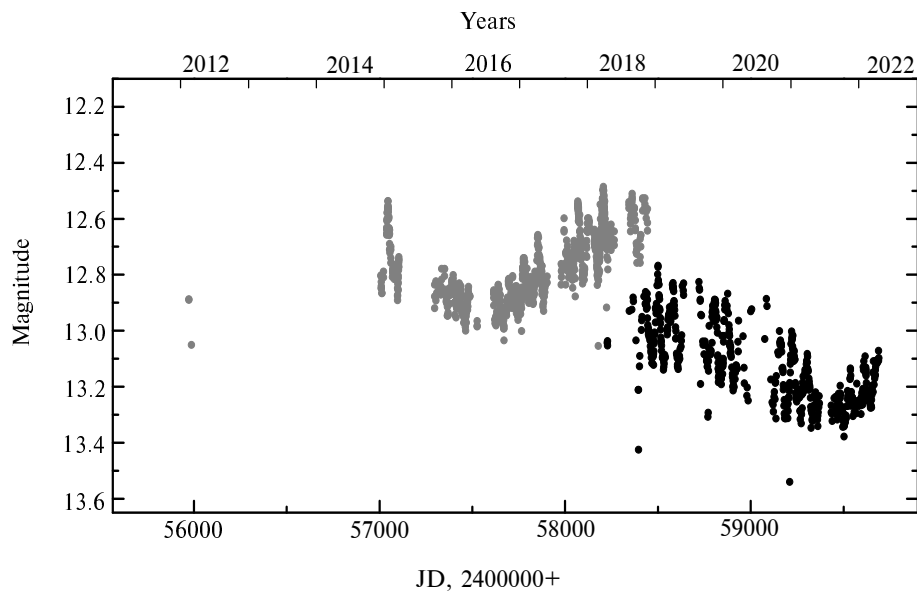


Рис. 5. Кривые блеска по наблюдениям из обзора ASAS-SN в полосе V за 2012–2018 гг. (серые точки) и в полосе g за 2018–2022 гг. (черные точки).

спектральных классов F0–F8 в post-AGB стадии эволюции. Характерные свойства полуправильного изменений блеска этих звезд — небольшие амплитуды (от 0^m1 до 0^m6), периоды порядка 30–100 суток, переключение пульсационных мод

с близкими периодами — были отмечены Sasselov (1984) для звезд типа UU Her и подтверждены позднее для целого ряда других post-AGB объектов (Arkhipova et al., 1993; Hrivnak and Lu, 2000; Kiss et al., 2007). Совместное исследование

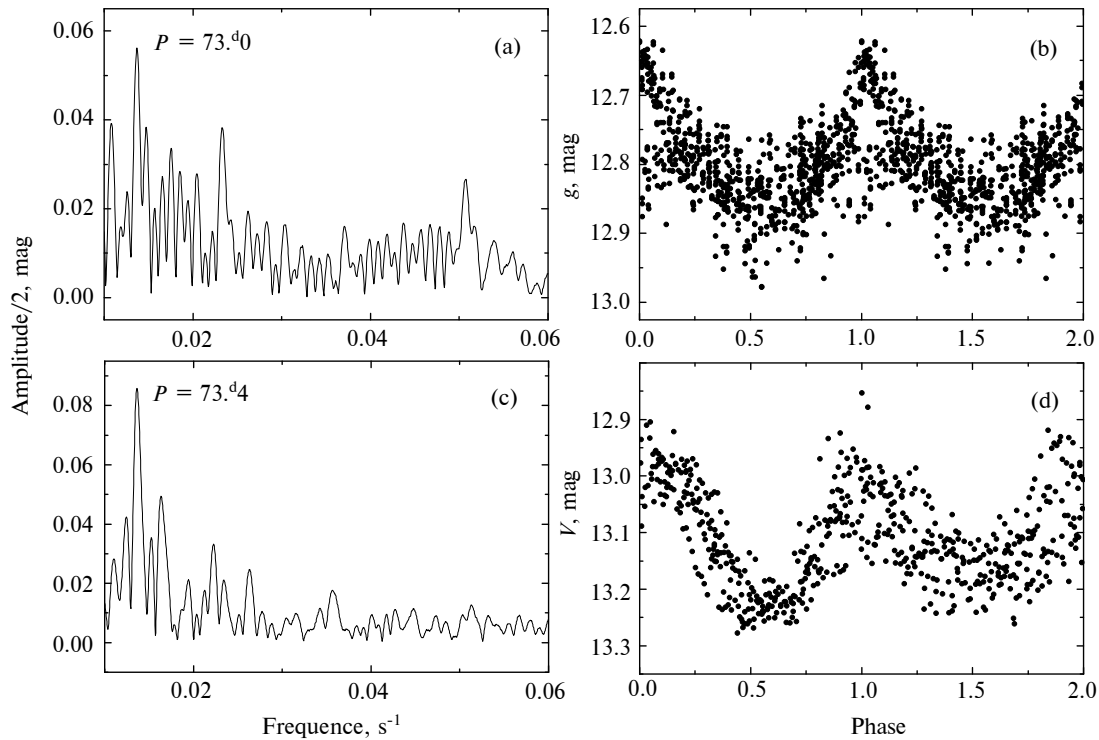


Рис. 6. Амплитудные спектры ряда наблюдений ASAS-SN в полосе V (a) и g (b) и фазовые кривые, свернутые с периодами, соответствующими самым высоким пикам в амплитудных спектрах.

кривых блеска, показателей цвета и лучевых скоростей подтверждает вывод о том, что причиной переменности этих звезд являются пульсации (Hrivnak et al., 2013; 2018).

3.3. Долговременный тренд блеска

На рис. 7 показана сводная кривая блеска в полосе V за период с 2014 г. по 2023 г. по данным обзора ASAS-SN и нашим наблюдениям на телескопе RC600. Как видно на рисунке, прослеживается синусоидальная волна с большим периодом.

Для поиска периода к массиву данных в полосе V за 2014–2023 гг. мы применили программу В. П. Горанского WINEFK. В результате в диапазоне значений 500–3000 суток был найден период $P = 1810 \pm 200$ суток. На рис. 8 показаны фазовые кривые блеска в полосах VJHK, а на рис. 9 — кривые показателей цвета $U - B$, $B - V$, $R_C - I_C$, $J - H$, $H - K$, свернутые с этим периодом.

Блеск, как в оптическом, так и в ближнем ИК-диапазоне, а также показатель цвета $J - H$ испытывают фазовые изменения, тогда как показатели цвета $U - B$, $B - V$, $R_C - I_C$ и $H - K$ не меняются с фазой.

Обнаруженная нами долговременная переменность блеска с периодом около 1800 суток не является уникальной для post-AGB объектов. В

частности, их представители — переменные типа RV Tau подкласса RVb, в дополнение к пульсационной активности, демонстрируют модуляцию среднего блеска с периодами 470–2800 суток (Soszyński et al., 2017). По современным представлениям, подобного рода переменность связана с их двойственностью и наличием у них околозвездных пылевых дисков, которые при орбитальном движении в разной степени затмевают центральный источник (Kiss and Bódi, 2017).

Более горячие post-AGB объекты, покинувшие полосу неустойчивости, в отдельных случаях также показывают долговременные периодические модуляции блеска. Примером может служить биполярная протопланетарная туманность с центральной двойной звездой — V510 Pup (IRAS 08005–2356). Для нее Manick et al. (2021) обнаружили переменность блеска с периодом $P = 2654 \pm 124$ суток по фотометрическим данным в оптическом (полоса V) и ближнем ИК-диапазонах (полосы JHKL). Авторы провели также спектральный мониторинг звезды и выявили переменность лучевой скорости с тем же периодом $P = 2654$ суток, который, без сомнения, является орбитальным.

Таким образом, по аналогии с другими post-AGB объектами, показывающими долговременный периодический тренд блеска, мы предполагаем, что найденный период является орбитальным. Самой

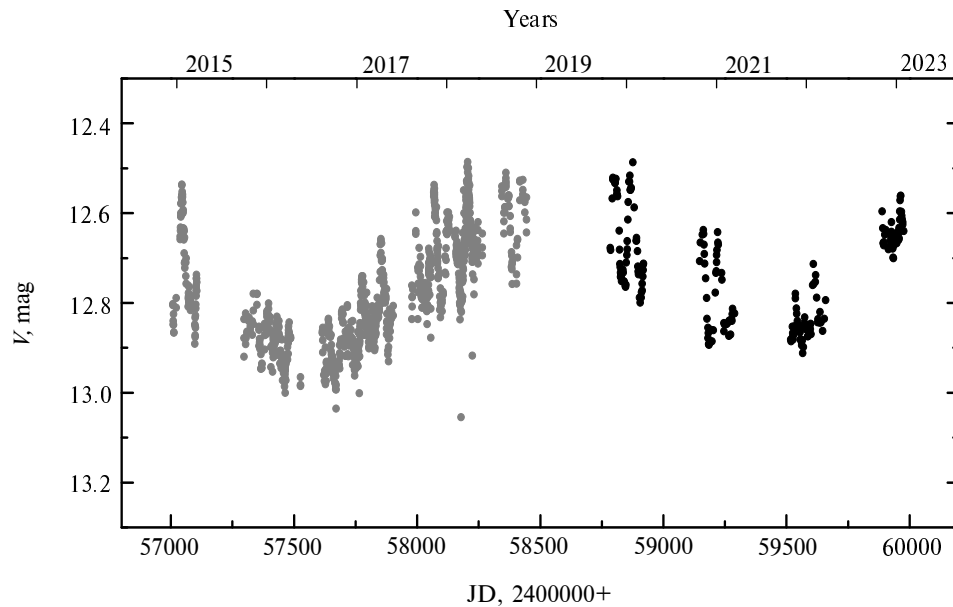


Рис. 7. Кривая блеска в полосе V по данным обзора ASAS-SN (серые точки) и наблюдениям на телескопе RC600 (черные точки).

вероятной причиной подобной переменности блеска при неизменности показателей цвета в оптическом диапазоне может быть переменное экранирование света центрального источника при его орбитальном движении крупными частицами пылевого диска, дающими нейтральное поглощение, как, например, в случае IRAS 19135+3937 (Gorlova et al. (2015) и наши неопубликованные данные).

3.4. Анализ спектральных данных

Мы получили четыре спектра звезды в 2020 г. и 2023 г. Спектр за 10 января 2023 г. был снят при самых хороших погодных условиях, с наилучшим SNR и максимальными экспозициями. Его мы и использовали для основного анализа. На рис. 10 изображен нормированный на континуум спектр за эту дату с обозначением отождествленных нами линий. Отождествление спектра проводилось с помощью базы данных VALD3 (Ryabchikova et al., 2015).

Кроме линий водорода в спектре присутствуют многочисленные линии нейтральных металлов и их ионов: Fe I, Fe II, Mg I, Mn I, Sc II, Ni I, Si II и др. Обращает на себя внимание наличие сильных линий Si I ($\lambda 6744$, $\lambda 6749$, $\lambda 6757$) и Si I ($\lambda 6010-6020$, $\lambda 6588$, $\lambda 7107-7120$). В спектре обнаружены линии элементов s -процесса: бария Ba II ($\lambda 5853$, $\lambda 6142$, $\lambda 6498$), стронция Sr II ($\lambda 4078$ и $\lambda 4215$) и иттрия Y II ($\lambda 4884$). Широкие абсорбционные детали на длинах волн $\lambda 5797$, $\lambda 6286$, $\lambda 6613$ можно отождествить с диффузными межзвездными полосами (DIBs). В спектре IRAS 07253-2001 линия K Ca II ($\lambda 3933$) ослаблена относительно

бленды He + H Ca II, в отличие от спектров других post-AGB звезд близких спектральных классов (V887 Her, V1648 Aql и V448 Lac), в которых эти линии имеют практически одинаковые глубины (Hrivnak et al. (1989); Suárez et al. (2006) и наши неопубликованные данные).

3.4.1. Эмиссионные линии оболочки

Важной особенностью спектра является наличие эмиссионной составляющей линии H α . На рис. 11 показаны профили линии H α на спектрах, полученных 18 января 2020 г., 14 декабря 2020 г. и 10 января 2023 г. Профиль линии H α на спектре за 6 января 2023 г. практически совпадает с таковым за 10 января 2023 г. и не нанесен на рис. 11.

Линия H α имеет двухкомпонентную эмиссионную составляющую и существенно меняется со временем. Моменты спектральных наблюдений отмечены на рис. 2. На дату 18 января 2020 г. звезда находилась в пульсационном максимуме на уровне блеска $V = 12^m53$ и имела самую слабую эмиссионную компоненту. Следующая дата спектральных наблюдений 14 декабря 2020 г. пришлась на пульсационный минимум с блеском $V = 12^m89$. В этот момент эмиссионная линия H α на нормированном спектре существенно усилилась, а центральная абсорбция практически исчезла. На дату 10 января 2023 г. при $V = 12^m66$ эмиссионная компонента опять приобрела двухкомпонентный профиль и заняла на графике промежуточное положение.

Переменность эквивалентной ширины эмиссионной компоненты можно объяснить, предположив, что меняется уровень континуума звезды, а

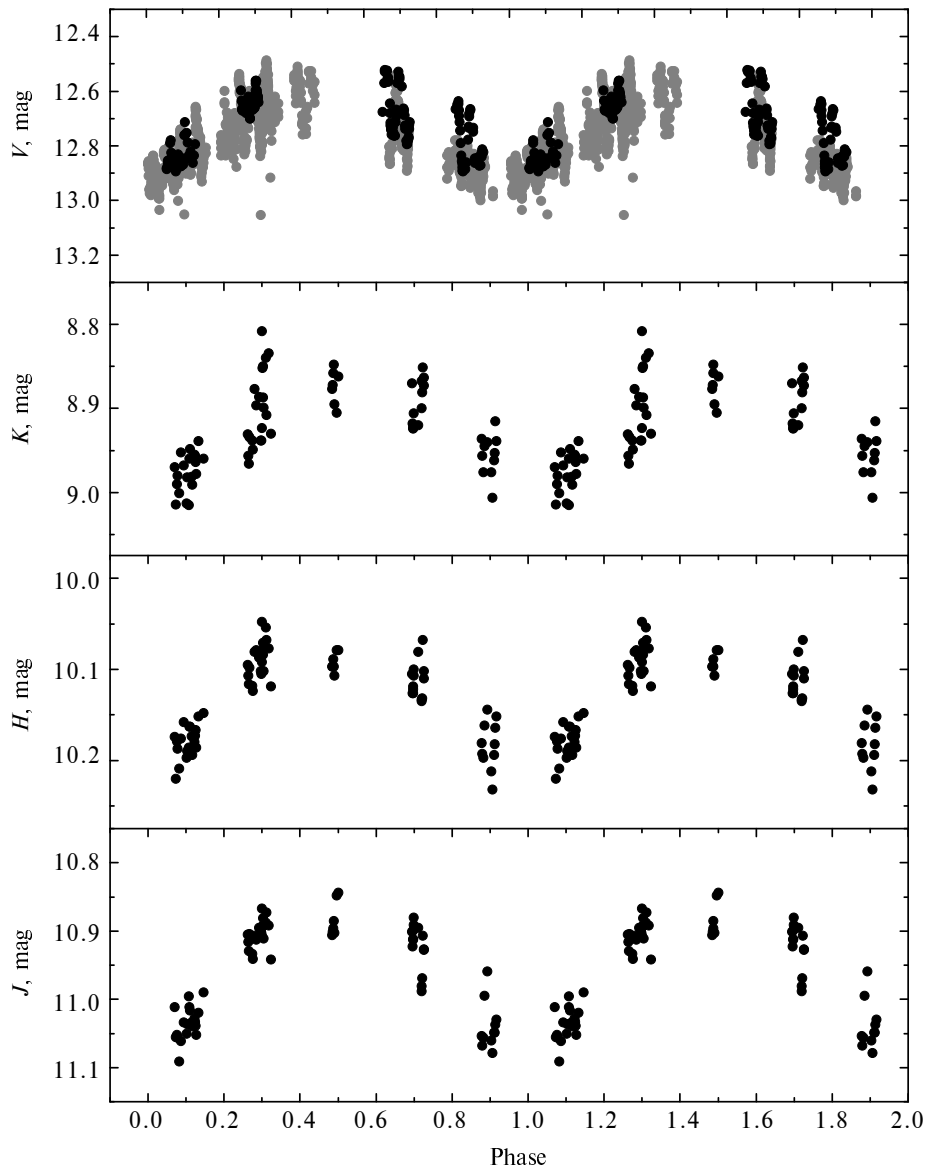


Рис. 8. Фазовые кривые блеска, свернутые с периодом $P = 1810$ суток, по данным обзора ASAS-SN (серые точки) и нашим наблюдениям на телескопах КГО (черные точки).

эмиссионная линия образуется в околозвездной газовой оболочке и имеет постоянную интенсивность. При этом двухкомпонентный профиль вызван наложением эмиссионной линии на абсорбцию звезды.

Неожиданным оказалось обнаружение в спектре холодной звезды запрещенных эмиссионных линий [N II] ($\lambda 6548$ и $\lambda 6584$), [S II] ($\lambda 6716$ и $\lambda 6731$), [Ni II] ($\lambda 6667$, $\lambda 7378$ и $\lambda 7412$) и [Fe II] ($\lambda 7155$). Подобного явления мы пока не встречали у других post-AGB сверхгигантов спектральных классов F0–F8, в отличие от горячих post-AGB звезд с $T_{\text{eff}} > 15\,000$ K, спектры которых представляют собой сумму излучения центральной звезды и газовой оболочки низкого возбуждения, как, на-

пример, у объектов IRAS 14331–6435 (Arkhipova et al., 2018) или IRAS 18379–1707 (Ikonnikova et al., 2020).

Мы измерили эквивалентные ширины линий [N II] $\lambda 6584$, [S II] ($\lambda 6716$ и $\lambda 6731$), [Ni II] ($\lambda 6667$, $\lambda 7378$ и $\lambda 7412$), значения которых представлены в таблице 6. Из-за слабости этих линий точность измерения их эквивалентных ширин невысока и составляет около 15–20%. Относительные интенсивности линий [S II] $F(\lambda 6716)/F(\lambda 6731)$ и [Ni II] $F(\lambda 6667)/F(\lambda 7378)$ слабо зависят от электронной температуры T_e и могут быть использованы для оценки электронной концентрации N_e в зоне образования этих линий. Мы не рассматривали при диагностике линию [Ni II] $\lambda 7412$, поскольку

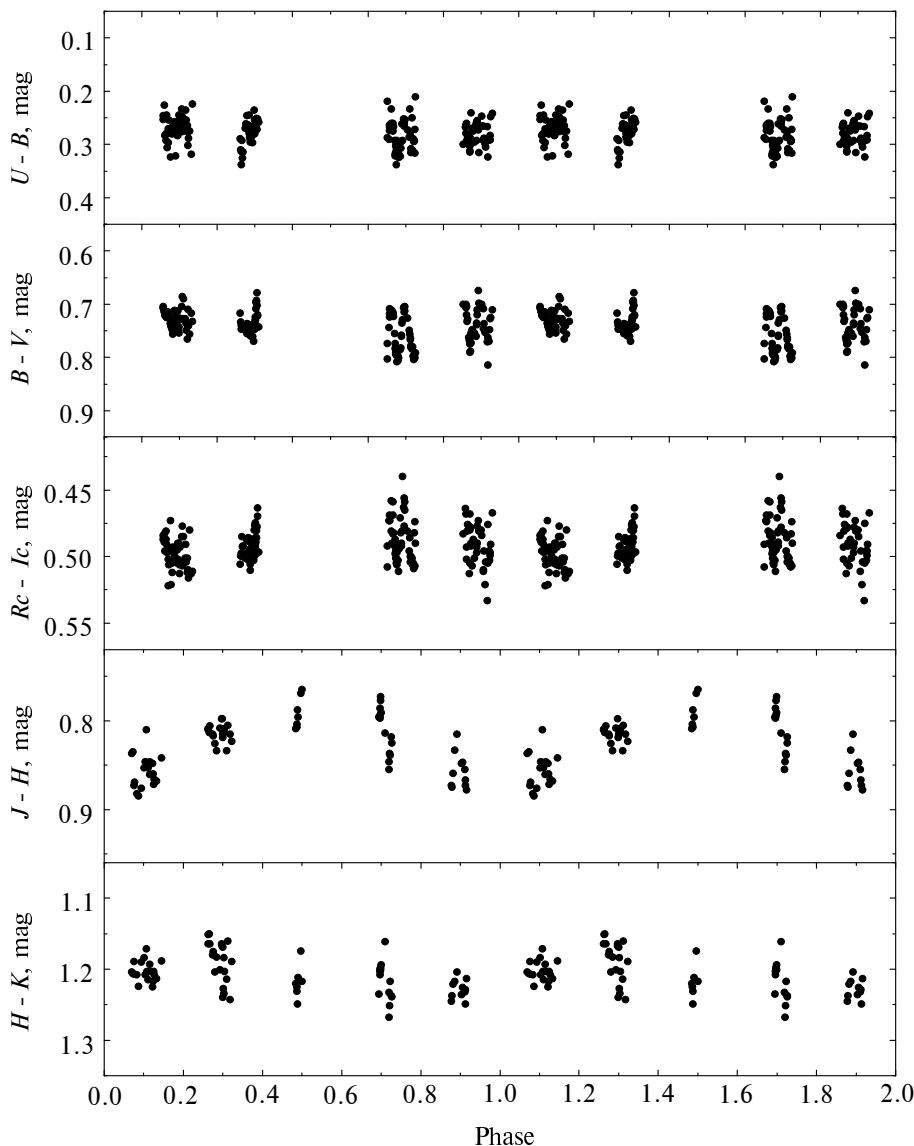


Рис. 9. Фазовые кривые показателей цвета, свернутые с периодом $P = 1810$ суток, по нашим наблюдениям на телескопах КГО.

она располагается на краю спектра и может быть искажена.

Для сравнения наблюдаемых отношений интенсивностей линий с теоретическими необходимо учесть поглощение света в спектре. Reddy and Parthasarathy (1996) приводят значения $A_V = 0^m90$ (или $E(B - V) = 0^m29$) для межзвездного и $A_V = 2^m1$ (или $E(B - V) = 0^m68$) для полного поглощения, включая околозвездное. В работе Vickers et al. (2015) избыток цвета принимается равным $0^m46 \pm 0^m05$. Из-за незнания расстояния до объекта (см. раздел 4) невозможно пока определить $E(B - V)$, используя карты межзвездного покраснения.

Принимая во внимание неопределенность величины $E(B - V)$, мы получили отношения интен-

сивностей линий дублетов

$$[\text{S II}] F(\lambda 6716)/F(\lambda 6731) \approx 0.67 \text{ и}$$

$$[\text{Ni II}] F(\lambda 6667)/F(\lambda 7378) \approx 0.20,$$

учитывая эквивалентные ширины этих линий и распределение энергии в синтетическом модельном спектре (см. раздел 3.4.2). Для оценки электронной концентрации в областях образования линий [S II] и [Ni II] мы воспользовались результатами расчетов коэффициентов излучения, выполненных в рамках не-ЛТР моделей (Giannini et al., 2015). Мы получили значения $N_e = (1.5-2.5) \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ для зоны [S II] и значительно более высокую оценку $N_e = (1-3) \times 10^6 \text{ см}^{-3}$ для области [Ni II] в интервале температур $T_e = 5000-15000 \text{ К}$. Этот результат согласуется с одним из основных выводов

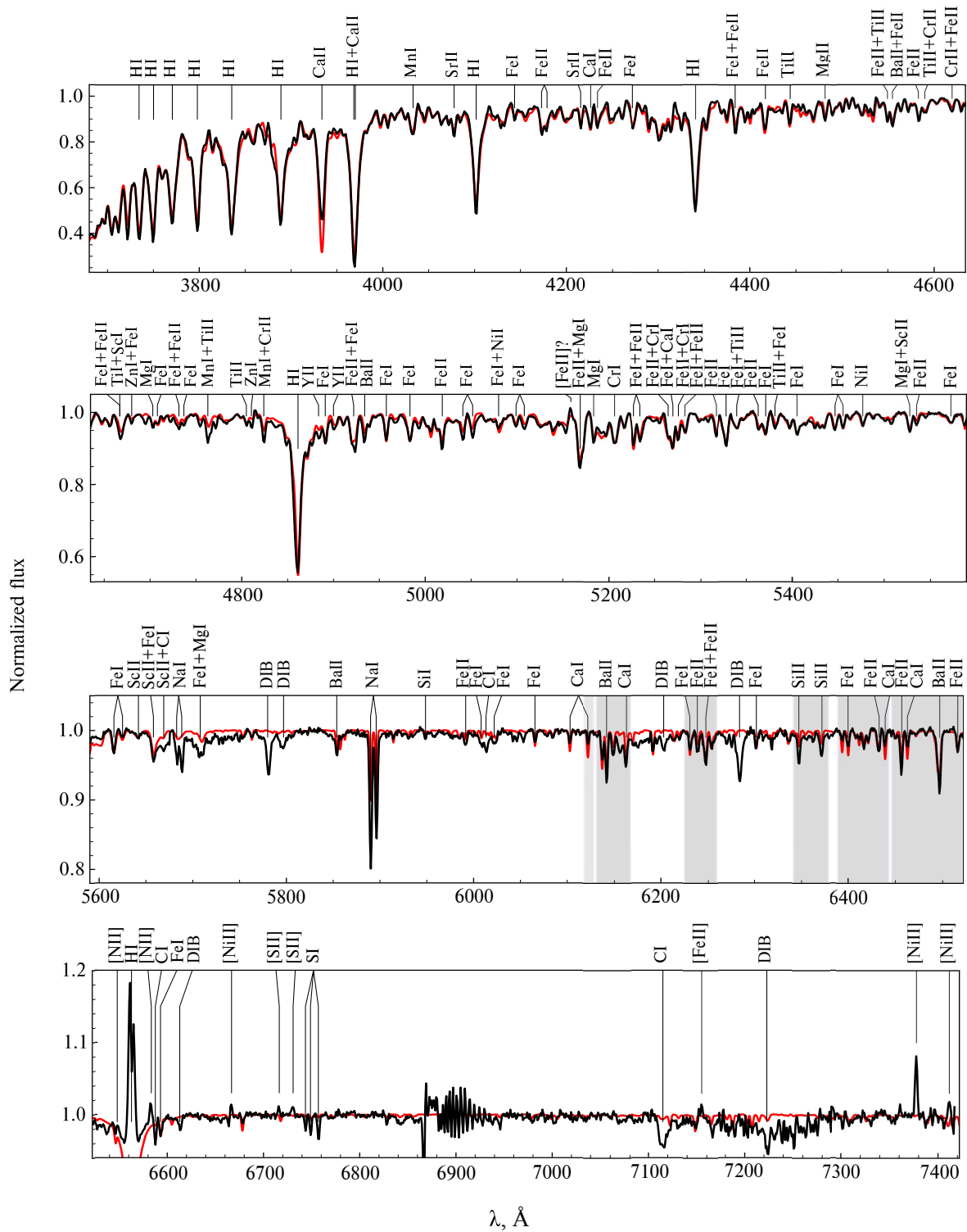


Рис. 10. Нормированный на континуум спектр, полученный 10 января 2023 г., с обозначением отождествленных нами линий. Серым цветом отмечены области, которые использовались для измерения лучевой скорости. В электронной версии журнала красным цветом изображен модельный спектр.

работы Bautista et al. (1996) о том, что значение N_e в газовых туманностях, найденное по линиям [Ni II], существенно выше такого, определенного по линиям [S II].

Причина возникновения запрещенных эмиссионных линий в спектре IRAS 07253–2001 пока остается под вопросом. Если предположить, что IRAS 07253–2001 является двойной звездой, то их

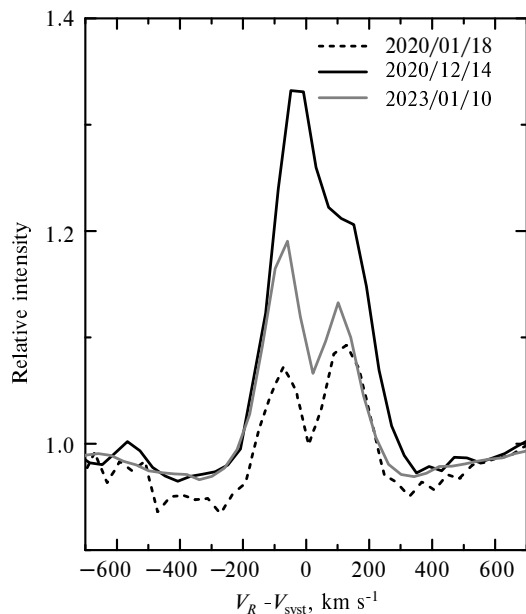


Рис. 11. Профили линии $H\alpha$ на нормированных спектрах, полученных 18 января 2020 г., 14 декабря 2020 г. и 10 января 2023 г.

Таблица 6. Эквивалентные ширины эмиссионных линий в спектре IRAS 07253–2001 по данным 10 января 2023 г.

Линия	$\lambda_{\text{lab}}, \text{\AA}$	$EW, \text{\AA}$
[N II]1F	6583.45	0.057
[Ni II]2F	6666.80	0.037
[S II]2F	6716.47	0.024
[S II]2F	6730.85	0.036
[Ni II]2F	7377.83	0.221
[Ni II]2F	7411.61	0.108

наличие может свидетельствовать о присутствии горячего компаньона, скорее всего белого карлика, для обнаружения которого требуются наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне.

3.4.2. Определение параметров звезды

Мы предприняли попытку определить параметры звезды, сравнивая ее спектр с синтетическим, который был подобран программой `pySME` (см. сноску 5) и моделями атмосфер `MARCS` (Gustafsson et al., 2008).

При $T_{\text{eff}} = 6300 \pm 300$ К, $\lg g = 2.0 \pm 0.6$, $\xi_t = 4.0 \pm 1.7$ км с⁻¹, $[\text{Me}/\text{H}] = -1.2 \pm 0.2$ удастся хорошо описать профили линии водорода и большинство линий металлов за исключением линий Ca II, которые оказываются при моделировании существенно сильнее, чем в наблюдениях, и линий Si I и Si I, усиленных в нашем спектре

и отсутствующих в модельном (рис. 10). Для более надежного определения параметров звезды и оценки содержания химических элементов в ее атмосфере необходим спектр высокого разрешения и применение не-ЛТР подхода.

Пониженная металличность звезды при наличии в ее спектре довольно сильных линий S и C иллюстрирует отмеченную еще в ранних работах особенность химического состава отдельных post-AGB звезд, например HD 52961 (Waelkens et al., 1991). Так, некоторые сверхгиганты A–F демонстрируют почти солнечное содержание C, N, O, S и Zn, в то время как содержание Fe, Mg, Ca, Si, Cr и других элементов значительно ниже солнечного. Mathis and Lamers (1992) предположили, что изначально атмосферы этих звезд были солнечными по составу, но на данном этапе эволюции ядра отдельных тяжелых элементов были отделены от атмосферы и конденсировались на пылинках. Газ, обедненный тяжелыми элементами, составляет нынешнюю атмосферу этих звезд.

Сравним полученные нами параметры звезды с приведенными в более ранних работах.

Reddy and Parthasarathy (1996) по спектру низкого разрешения в диапазоне λ 5800–8500 определили спектральный класс звезды как F5 I(e). Эффективная температура $T_{\text{eff}} = 7000$ К была получена ими на основе калибровки спектрального класса по T_{eff} (Flower, 1977). Отметим, что в калибровке Straižys (1982) этому спектральному классу и классу светимости соответствует эффективная температура $T_{\text{eff}} = 6500$ К. Значение силы тяжести на поверхности звезды $\lg g = 1.0$ взято авторами из таблиц зависимости светимости от $\lg g$ (Flower, 1977).

Suárez et al. (2006) по спектру низкого разрешения (величина дисперсии около 2.47 Å/пиксель) в диапазоне λ 4272–6812 классифицировали звезду как F2 I. По этому же спектру Molina (2018) получил $T_{\text{eff}} = 7826 \pm 91$ К с помощью эмпирического соотношения $T_{\text{eff}} = (8114 \pm 65) - (146 \pm 24)(\text{Ca II K})$, в которое входит эквивалентная ширина линии Ca II K (λ 3933). То есть использовалась линия, которая находится вне наблюдаемого диапазона спектра. Не вызывают доверия и другие параметры, полученные в этой работе: $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.81 \pm 0.19$ и $\lg g = 1.28 \pm 0.21$, поскольку для их определения по уравнениям, приведенным автором, требуются эквивалентные ширины линий Fe I blend (λ 4271) и Fe, Ti II (λ 4172–4179), но они не измерены и отсутствуют в таблице 1 из статьи Molina (2018).

3.4.3. Измерение лучевой скорости

Поскольку модельный спектр адекватно описывает большинство линий, мы можем использовать его для вычисления лучевой скорости. Для этого мы выбрали восемь участков спектра, где совпадение было наилучшим. Выбранные участки относятся к красному каналу, поскольку калибровка ТДС в нем значительно точнее, чем в голубом. Кроме того, большое количество эмиссионных линий неба в красной области позволяет исправить сдвиг калибровки из-за деформаций прибора. Итоговая точность калибровки относительно линий неба составляет около 3 км с^{-1} . После исправления калибровки по спектру неба длины волн приводятся к барицентру Солнечной системы. Для вычисления лучевой скорости относительно теоретического спектра последний был уширен с гауссовским профилем до совпадения ширин абсорбционных линий. На каждом из выбранных участков наблюдаемый спектр был дополнительно нормирован и масштабирован до наилучшего совпадения уровня континуума и глубин линий с модельным спектром. Вычисление скорости и двух масштабирующих параметров производилось методом наименьших квадратов.

Средняя скорость по отдельным участкам для спектров 18 января 2020 г. равна $V_R = 23 \pm 6 \text{ км с}^{-1}$, для 14 декабря 2020 г. — $V_R = 6 \pm 6 \text{ км с}^{-1}$, для 6 и 10 января 2023 г. — $V_R = 39 \pm 5 \text{ км с}^{-1}$, с учетом ошибки калибровки. Отличие скоростей в декабре 2020 г. и январе 2023 г. видно даже при простом сравнении спектров: линии поглощения звезды сдвинуты, в то время как межзвездные и запрещенные линии остаются на месте. Таким образом, звезда показывает переменность лучевой скорости с амплитудой не менее 30 км с^{-1} . Типичные изменения скоростей при пульсационном движении в атмосферах post-AGB звезд составляют около 10 км с^{-1} (Hrivnak et al., 2018). Следовательно, обнаруженное нами изменение скорости можно отнести к орбитальному движению, тем более что значение полуамплитуды переменности $K_1 \approx 15 \text{ км с}^{-1}$ попадает в диапазон величин K_1 известных двойных post-AGB объектов (Oomen et al. (2018) и ссылки в этой работе).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечислим основные результаты работы.

- Впервые для post-AGB объекта IRAS 07253–2001 получена серия многоцветной фотометрии в оптическом и ближнем ИК-диапазонах.

- По наблюдениям обзора ASAS-SN и собственным данным найдена малоамплитудная квазипериодическая переменность блеска источника с основным периодом около 73 суток и близкими к нему значениями 68 и 70 суток. Суперпозиция колебаний с близкими периодами приводит к изменению блеска с переменной амплитудой. Зависимость цвет–блеск свидетельствует об изменении температуры во время пульсаций. Характер переменности и периоды пульсационных колебаний согласуются с таковыми у типичных post-AGB сверхгигантов спектральных классов F0–F8 (Arkhipova et al., 2010; 2011; Hrivnak et al., 2010; 2022).
- По данным обзора ASAS-SN и собственным многоцветным наблюдениям обнаружена долговременная переменность блеска с периодом около 1800 суток, который, вероятно, является орбитальным.
- Впервые получены спектральные наблюдения с лучшим, чем прежде, спектральным разрешением. Проведено отождествление линий в спектре. Построен спектральный атлас. Проведено моделирование спектра и получены параметры атмосферы звезды:

$$T_{\text{eff}} = 6300 \pm 300 \text{ К}, \lg g = 2.0 \pm 0.6,$$

$$\xi_t = 4.0 \pm 1.7 \text{ км с}^{-1}, [\text{Me}/\text{H}] = -1.2 \pm 0.2.$$

- Обнаружена переменность лучевой скорости с амплитудой около 30 км с^{-1} , что является указанием на двойственность звезды.
- Выявлена переменность эмиссионной компоненты линии $\text{H}\alpha$. Сделан вывод об образовании этой линии в оболочке звезды.
- В спектре обнаружены запрещенные эмиссионные линии газовой оболочки. Предположительно, источником возбуждения этих линий может быть горячая звезда в двойной системе.

Полученные нами данные в широком диапазоне длин волн — от 0.35 мкм (U -полоса) до 2.2 мкм (K -полоса) — могут послужить в дальнейшем для моделирования распределения энергии в спектре звезды и определения параметров ее пылевой оболочки.

Эволюционный статус звезды как post-AGB сверхгиганта не вызывает сомнений. Однако определение массы звезды, путем сравнения ее параметров (эффективной температуры и светимости) с модельными расчетами (например, Miller Bertolami (2016)) пока не представляется возможным. Для оценки светимости звезды мы возлагали большие надежды на спутник Gaia. Однако в каталоге Gaia DR2 (Brown et al., 2018) параллакс имеет отрицательное значение $\pi = -2.2 \pm 0.4 \text{ mas}$. Параллакс $\pi = 2.4 \pm 0.5 \text{ mas}$ из каталога Gaia DR3

(Brown et al., 2021) приводит к расстоянию $d = 452_{-90}^{+167}$ пк (Bailer-Jones et al., 2021) и светимости $L = 25.6_{-9.2}^{+22.4} L_{\odot}$ (Oudmaijer et al., 2022), значение которой находится вне диапазона светимостей $3000 L_{\odot} < L < 15\,000 L_{\odot}$ post-AGB моделей (Miller Bertolami, 2016). Следует отметить, что параметр астрометрического решения *RUWE* (перенормированное значение χ -квадрат) для IRAS 07253–2001 составляет $42.89 \gg 1$, что свидетельствует о крайне низкой точности параллакса и невозможности его использовать.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят за поддержку работы Программу развития Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (научно-образовательная школа «Фундаментальные и прикладные исследования космоса») и коллектив операторов 2.5-м телескопа КГО ГАИШ МГУ (Б. С. Сафонова, О. В. Возякову, О. В. Егорова и В. С. Ландера) за отдельные наблюдения.

С. Г. Желтоухов и А. М. Татарников благодарят за поддержку Российский научный фонд (грант № 23-22-00182).

Мы выражаем благодарность анонимным рецензентам за полезные замечания.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. P. Arkhipova, N. P. Ikonnikova, and R. I. Noskova, *Astronomy Letters* **19**, 169 (1993).
2. V. P. Arkhipova, N. P. Ikonnikova, and G. V. Komissarova, *Astronomy Letters* **36**, 269 (2010).
3. V. P. Arkhipova, N. P. Ikonnikova, and G. V. Komissarova, *Astronomy Letters* **37**, 635 (2011).
4. V. P. Arkhipova, M. A. Burlak, V. F. Esipov, et al. *Astronomy Letters* **39**, 619 (2013).
5. V. P. Arkhipova, M. Parthasarathy, N. P. Ikonnikova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **481**, 3935 (2018).
6. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, et al., *Astron. J.* **161**, id. 147 (2021).
7. M. A. Bautista, J. Peng, and A. K. Pradhan, *Astrophys. J.* **460**, 372 (1996).
8. L. N. Berdnikov, A. A. Belinskii, N. I. Shatskii, et al., *Astronomy Reports* **64**, 310 (2020).
9. J. A. D. L. Blommaert, W. E. C. J. Van Der Veen, and H. J. Habing, *Astron. and Astrophys.* **267**, 39 (1993).
10. A. G. A. Brown, et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **616**, id. A1 (2018).
11. A. G. A. Brown, et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **649**, id. A1 (2021).
12. T. J. Deeming, *Astrophys. and Space Sci.* **36**, 137 (1975).
13. S. De Ruyter, H. Van Winckel, T. Maas, et al., *Astron. and Astrophys.* **448**, 641 (2006).
14. Yu. A. Fadeev, *Astronomy Letters* **45**, 521 (2019).
15. P. J. Flower, *Astron. and Astrophys.* **54**, 31 (1977).
16. P. Garcia-Lario, A. Manchado, S. R. Pottasch, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **82**, 497 (1990).
17. P. Garcia-Lario, M. Parthasarathy, D. de Martino, et al., *Astron. and Astrophys.* **326**, 1103 (1997).
18. T. Giannini, S. Antonucci, B. Nisini, et al., *Astrophys. J.* **814**, article id. 52 (2015).
19. N. Gorlova, H. Van Winckel, N. P. Ikonnikova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **451**, 2462 (2015).
20. B. Gustafsson, B. Edvardsson, K. Eriksson, et al., *Astron. and Astrophys.* **486**, 951 (2008).
21. G. Handler, R.H. Mendez, R. Medupe, et al., *Astron. and Astrophys.* **320**, 125 (1997).
22. B. J. Hrivnak, S. Kwok, and K. M. Volk *Astrophys. J.* **346**, 265, (1989).
23. B. J. Hrivnak and W. Lu, *Proc. IAU Symp. No. 177*, Ed. by Robert F. Wing (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000), p. 293.
24. B. J. Hrivnak, W. Lu, R. E. Maupin and B. D. Spitzbart, *Astrophys. J.* **709**, id. 1042 (2010).
25. B. J. Hrivnak, W. Lu, J. Sperauskas, et al., *Astron. J.* **766**, article id. 116 (2013).
26. B. J. Hrivnak, G. Van de Steene, H. Van Winckel, et al., *Astron. J.* **156**, article id. 300 (2018).
27. B. J. Hrivnak, G. Henson, T. Hillwig, et al., *Astrophys. J.* **901**, id. 9 (2020).
28. B. J. Hrivnak, W. C. Bakke, and P. J. Grimm, *Astrophys. J.* **939**, id. 32 (2022).
29. I. Iben, Jr. and A. Renzini, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **21**, 271 (1983).
30. N. P. Ikonnikova, M. Parthasarathy, A. V. Dodin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **491**, 4829 (2020).
31. L. L. Kiss and A. Bódi, *Astron. and Astrophys.* **608**, id. A99 (2017).
32. L. L. Kiss, A. Derekas, G. M. Szabo, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **375**, 1338 (2007).
33. C. S. Kochanek, B. J. Shappee, K. Z. Stanek, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **129** 980 104502 (2017).
34. A. U. Landolt, *Astron. J.* **137**, 4186 (2009).
35. S. K. Leggett, M. J. Currie, W. P. Varricatt, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **373**, 781 (2006).
36. R. Manick, B. Miszalski, D. Kamath, et al. *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **508**, 2226 (2021).
37. J. S. Mathis and H. J. G. L. M. Lamers *Astron. and Astrophys.* **259**, L39 (1992).
38. M. M. Miller Bertolami, *Astron. and Astrophys.* **588**, id. 25 (2016).
39. R. E. Molina, *Revista Mexicana Astronom. Astrofis.* **54**, 397 (2018).

40. A. E. Nadjip, A. M. Tatarnikov, D. W. Toomey, et al. *Astrophysical Bulletin* **72**, 382 (2017).
41. G.-M. Oomen, H. Van Winckel, O. Pols, et al. *Astron. and Astrophys.* **620**, id. A85 (2018).
42. R. D. Oudmaijer, E. R. M. Jones, and M. Vioque, arXiv e-prints astro/ph:2208.02832v1 (2022).
43. N. Piskunov and J. A. Valenti, *Astron. and Astrophys.* **597** id. A16 (2007).
44. S. A. Potanin, A. A. Belinski, A. V. Dodin, et al. *Astronomy Letters* **46**, 836 (2020).
45. B. E. Reddy and M. Parthasarathy, *Astron. J.* **112**, 2053 (1996).
46. T. A. Ryabchikova, N. Piskunov, R. L. Kurucz, et al., *Physica Scripta*, **90**, id 054005 (2015).
47. D. D. Sasselov, *Astrophys. and Space Sci.* **102**, 16 (1984).
48. B. J. Shappee, J. L. Prieto, D. Grupe, et al., *Astrophys. J.* **788**, id. 48 (2014).
49. D. A. Simons, and A. Tokunaga, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **114**, 169 (2002).
50. I. Soszyński, A. Udalski, M. K. Szymański, et al., *Acta Astronomica* **67**, 297 (2017).
51. V. L. Straizys, *Metal-deficient stars* (Mokslas, Vil'nyus, 1982) [in Russian].
52. O. Suárez, P. García-Lario, A. Machado, et al., *Astron. and Astrophys.* **458**, 173 (2006).
53. O. Suárez, J. F. Gomez, and O. Morata, *Astron. and Astrophys.* **467**, 1085 (2007).
54. K. -W. Suh and J. Hong, *Journal of the Korean Astronomical Society* **50**, 131 (2017).
55. R. Szczerba, N. Siódmiak, G. Stasińska, and J. Borkowski, *Astron. and Astrophys.* **469**, 799 (2007).
56. A. M. Tatarnikov, S. G. Zheltoukhov, N. Shatsky, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (3), 384 (2023).
57. A. Tokunaga, D. A. Simons, W. D. Vacca, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **114**, 180 (2002).
58. H. Van Winckel, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **41**, 391 (2003).
59. H. Van Winckel, *Baltic Astronomy*, **16**, 112 (2007).
60. H. Van Winckel, *Proc. IAU Symp. No. 323*, Ed. by X. Liu, L. Stanghellini and A. Karakas (Cambridge University Press, 2017), p. 231.
61. H. Van Winckel, e-prints astro/ph:1809.00871v1 (2018).
62. S. B. Vickers, D. J. Frew, Q. A. Parker, and I. S. Bojčić, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **447**, 1673 (2015).
63. C. Waelkens, H. Van Winckel, E. Bogaert, and N.R. Trams, *Astron. and Astrophys.* **251**, 495 (1991).
64. A. Wehrhahn, N. Piskunov, and T. Ryabchikova, *Astron. and Astrophys.* **671**, id. A171 (2023).
65. D.-H. Yoon, S.-H. Cho, J. Kim, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211**, article id. 15 (2014).

Post-AGB Object IRAS 07253–2001: Pulsations, Long-Term Brightness Variability and Spectral Peculiarities

N. P. Ikonnikova¹, M. A. Burlak¹, A.V. Dodin¹, A. A. Belinski¹, A. M. Tatarnikov^{1,2}, N. A. Maslennikova^{1,2}, S. G. Zheltoukhov^{1,2}, and K. E. Atapin¹

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

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

The observations and comprehensive study of intermediate initial mass stars at the late stages of evolution, and after the asymptotic giant branch (AGB) in particular, are of crucial importance to identify the common properties for the stars of given group and to reveal binaries among them. This work aims to investigate photometric and spectral peculiarities of a poorly studied post-AGB candidate and infrared source IRAS 07253–2001. We present the new multicolour $UBVR_CI_C Y JHK$ photometry obtained with the telescopes of the Caucasus mountain observatory and analyse it together with the data acquired by the All Sky Automated Survey for SuperNovae. We report on the detection of multiperiod brightness variability caused by pulsations. A beating of close periods, the main one of 73 days and additional ones of 68 and 70 days, leads to amplitude variations. We have also detected a long-term sine trend in brightness with a period of nearly 1800 days. We suppose it to be orbital and IRAS 07253–2001 to be binary. Based on new low-resolution spectroscopic data obtained with the 2.5-m telescope of the Caucasus mountain observatory in 2020 and 2023 in the λ 3500–7500 wavelength range we have identified spectral lines and compiled a spectral atlas. We have found the [N II], [Ni II] and [S II] forbidden emission lines in the spectrum and discuss their origin. The $H\alpha$ line has a variable double-peaked emission component. We have derived preliminary estimates of the star's parameters and detected the variation of radial velocity with a peak-to-peak amplitude of about 30 km s^{-1} .

Keywords: *stars: AGB and post-AGB—stars: evolution—stars: binaries—stars: variable—stars: individual: IRAS 07253–2001*