

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.36>

Volume 3, Number 331 (2020), 52 – 58

UDK 524.37

МРНТИ 41.25.15

**L.N. Kondratyeva, E.K. Denissyuk, I.V. Reva, M.A. Krugov,
G.K. Aimanova, B.K. Omar, B.A. Urmashhev, A.T. Mailybayev**

V.G. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: lu_kondr@mail.ru, eddenis@mail.ru, alfekka@list.ru, mkrugov@astroclub.kz, agauhar@mail.ru,
bauka_beka9296@mail.ru, baydaulet.urmashev@mail.ru, excor@mail.ru

**SPECTRAL AND PHOTOMETRIC STUDY
OF TWO OBJECTS IRAS 22023+5249 AND IRAS 06053+1837**

Abstract. The objects IRAS 06053+1837 and IRAS 22023+5249, are considered as planetary nebula candidates. They have far infrared colors, which are typical to planetary nebulae. Their rather cool stars are surrounded by envelopes, in which some low-excitation emission lines are formed.

BV photometry of the object IRAS 22023+5249, carried out in 2017-2020, resulted the scatter of B and V values within $0^m.25$ and $0^m.10$ respectively. Moreover a tendency of the gradual increasing of brightness is revealed. Absolute fluxes and equivalent widths of the H β , H α , [NII], 6548, 6583A and HeI, 6678A emission lines in the spectrum of IRAS 22023+5249 are determined. The strengthening of the emission lines is confirmed. Most likely increasing of an effective temperature of the star is responsible for observable variations. As a whole spectral and photometric characteristics of the object IRAS 22023+5249 correspond to its status as a low-excitation planetary nebula.

For the object IRAS 06053+1837 observable data are obtained in 2014 -2019. Much larger the scatter of B V R values is observed: $0^m.50$, $0^m.15$ and $0^m.30$ respectively. The only HI emission lines are presented in its spectrum. Asymmetrical profiles of lines have broad wings on the short wavelength side. The evolutionary status of the object is not defined; its characteristics, are more similar to those of the young AeBe Herbig stars.

Key words: emission objects, emission spectrum, B V R magnitudes, individual objects: IRAS 22023+5249, IRAS 06053+1837.

Introduction. The theory of the planetary nebulae formation as a whole has long been developed. But the problem of evolutionary progenitors is as important and actual. It is known that some Be stars can develop circumstellar gaseous nebula, which creates an emission spectrum with forbidden lines. In other words, such object looks like as a planetary nebula. Last years some candidates for the planetary nebulae progenitors were found among the objects from IRAS catalog. They have the far infrared color typical for planetary nebulae, and due to such criterion it is possible to distinguish them from the other types of objects. Then the detected radio continuum can confirm the belonging of the object to the planetary nebula candidate [1,2]. Many of the objects from IRAS catalog already have low-excitation emission line spectra. Two of them: IRAS 22023+5249, IRAS 06053+1837 are considered in this paper.

Object IRAS 22023+5249=LS III+52°54=GGR 44=TYC 3969-2206-1 was initially entered in Catalog of early type emission-line stars [3]. Infrared observation of this object showed the presence of C and O rich dust features [4,5]. The high-resolution spectra of IRAS 22023+5249 were studied in Paper of Sarkar et al. [6]. The authors obtained the large heliocentric velocity of the object (-148.3 ± 0.6 kms $^{-1}$), $T_{\text{eff}} = 24,000$ K and $\log g = 3.0 \pm 0.5$. The only data of UBV observations of the object, carried out in 2007–2012, were presented by Arkhipova et al. [7]. The authors registered irregular photometric variability with the maximal amplitude of $0^m.25$ in the V filter. Moreover, an increase in the brightness of the object was accompanied by an increase of the color index (B-V) and by decrease of (U-B) [1].

Object IRAS 06053+1837 = LkHa 209 was included in different observational programs [2,8]. Thus its classification was changing from the star of the spectral class K0 to the possible protoplanetary nebula. Information about this object is also very limited: BVR photometry was carried out in 1986–1995 [2,9]. Our spectral and photometric observations of IRAS 22023+5249 and IRAS 06053+1837 were carried out in 2014–2020.

Observations and data reduction. Photometric observations of the objects were carried out with the Eastern 1-meter Carl Zeiss Jena telescope located at the Tyan-Shan Observatory of Fesenkov Astrophysical Institute. The CCD camera Alta F16M (4096x4096, 9 μ) of Apogee and a set of Johnson B V R filters were used. Four standard stars were chosen in the field and were used for calibration. These stars are well-isolated, with a brightness comparable to the object. They are located at small angular distance from the target, thus there is a negligible difference between atmospheric extinction for standards and object. All instrumental BVRc magnitudes of the objects were determined relative to each standard and were transformed to the standard photometric system. The expressions for this procedure were obtained from photometric measurements of the stars from [10]. Obtained images were processed using the Bias, Dark and Flat files. Image measurements are performed using the standard software packages MaximDL 6 and IRAF. Correction for atmospheric extinction and transformation of the obtained brightness to the standard system B V R is carried out using a system of corresponding equations.

Spectral observations were carried out using diffraction spectrograph mounted the telescope AZT-8. CCD camera SBIG ST-8 (1530x1020, 9 μ) (AZT-8) was used in 2011, later it was changed by SBIG STT-3200 (2184x1472, 6.8 μ). Two spectra of the object were obtained with the second “WESTERN” 1-meter telescope of TShAO. The telescope is equipped with a new diffraction spectrograph. At the output of the spectrograph, SBIG STT-3200 (2184x1472, 6.8 μ) is installed.

During observations, the spectrograms of an objects and standards were obtained with a wide (7"- 10") entrance slit. Standard stars with a known energy distribution were used for calibration of the fluxes. File processing consists of subtracting the dark background and taking into account atmospheric absorption.

Results. Photometric data for the object of the IRAS22023+5249, obtained in 2018–2020 are compiled in table 1. Figure 1 contains our results and those of Arkhipova et al., 2013. During our observations the scattering of the brightness values is less, and the level of brightness is as a whole higher than in previous years.

Table 1 – B and V magnitudes of IRAS22023+5249

Date of observations	JD-2400000	B mag	V mag
08.07.2018	58308.39	12.579±0.050	12.374±0.036
16.09.2018	58378.37	12.848±0.060	12.438±0.037
22.09.2019	58749.14	12.576±0.021	12.331±0.006
13.10.2019	58770.18	12.575±0.037	12.330±0.057
09.11.2019	58797.18	12.613±0.013	12.363±0.008
16.11.2019	58804.23	12.673±0.028	12.426±0.058
29.11.2019	58817.12	12.583±0.035	12.334±0.042
30.11.2019	58818.05	12.575±0.030	12.335±0.060
01.12.2019	58819.12	12.583±0.033	12.355±0.062
16.12.2019	58819.21	12.560±0.010	12.358±0.046
18.01.2020	58867.06	12.63±0.016	12.32±0.011
19.01.2020	58868.05	12.65±0.016	12.32±0.013

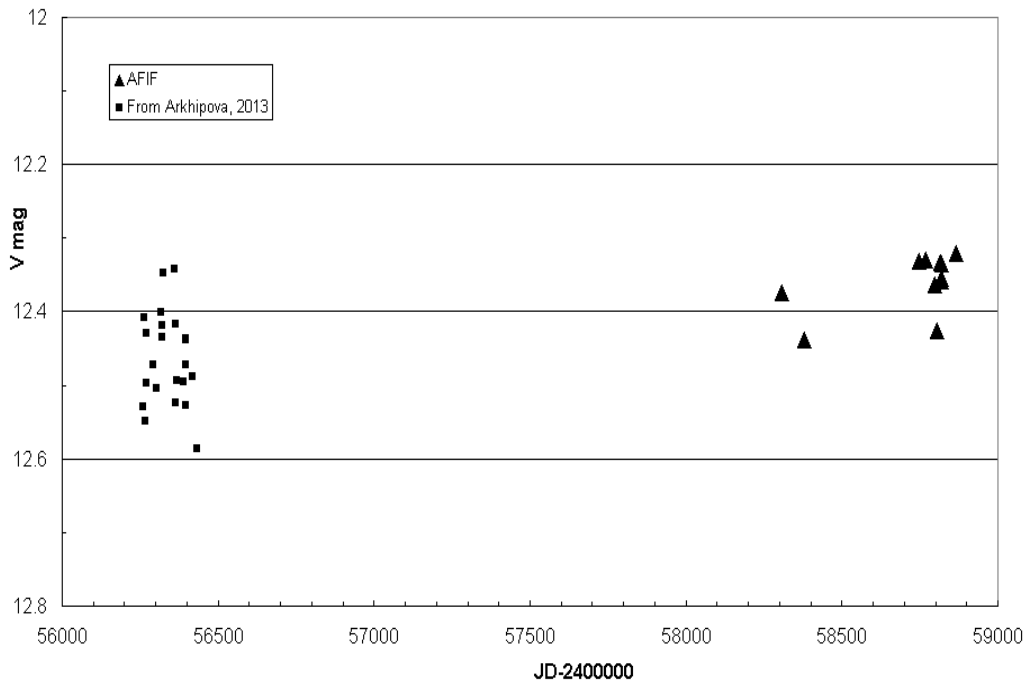


Figure 1 – Light curve of the object IRAS22023+5249 in the V band.

The results of spectral observations are presented in table 3. The absolute fluxes F_{abs} are expressed in $\text{erg cm}^{-2}\text{cek}^{-1}$. Accuracy of the EW values is about 10%. Variability of the fluxes is notable in figure 2. There are added data from Arkhipova et al., (2013) in the figure. It is seen, that $F_{abs}(H\alpha)$ increased by 40% in comparing with the data, obtained in 2011 – 2013. Besides that the fluxes of the HeI and [NII] emission lines also increased. The ratio $F(6717)/F(6731)$ of the [SII] line intensities corresponds to electron density $N_e=3800\pm 800 \text{ cm}^{-3}$.

Table 2- Fluxes and equivalent widths of the emission lines in the spectrum of IRAS 22023+5249

Ions, λ	Dates of obs.	04.08. 2011	01.09. 2011	15.09. 2017	22.07. 2018	05.08. 2018	13.08. 2018	19.10. 2019	01.12. 2019
$H\beta, 4861$	$F_{abs}^* 10^{13}$		3.48 ± 0.22				3.59 ± 0.32	3.51 ± 0.32	
	EW(A)		8.7				13	9.4	
$H\alpha, 6563$	$F_{abs}^* 10^{12}$	1.69 ± 0.13		1.93 ± 0.20	2.17 ± 0.20	2.35 ± 0.22			2.15 ± 0.22
	EW(A)	57		69	48	86			86
[NII], 6583	$F_{abs}^* 10^{13}$	5.44 ± 0.30		6.04 ± 0.32	6.23 ± 0.35	6.27 ± 0.32			7.09 ± 0.30
	EW(A)	18		22	14	23			29
HeI, 6678	$F_{abs}^* 10^{13}$			2.61 ± 0.22		3.62 ± 0.32			
	EW(A)			0.9		1.4			
[SII], 6717	$F_{abs}^* 10^{13}$			3.92 ± 0.20		2.68 ± 0.22			
	EW(A)			1.4		1.0			
[SII], 6731	$F_{abs}^* 10^{13}$			5.92 ± 0.31		4.41 ± 0.30			
	EW(A)			2.1		1.7			

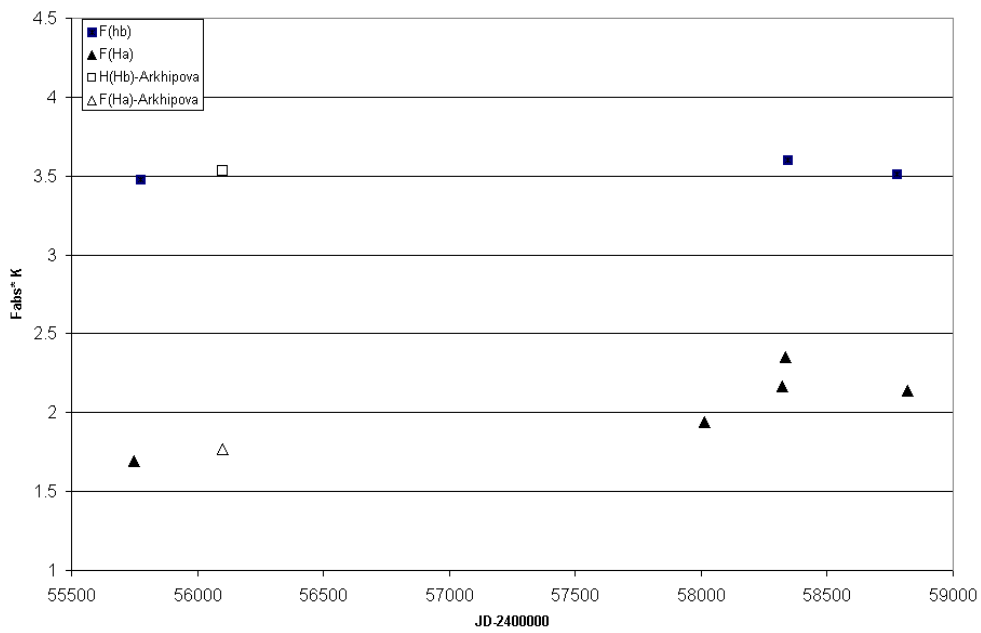


Figure 2 – Variations of the absolute fluxes in the H α (squares) and H β (triangles) emission lines. Empty signs denote data from Arkhipova et al., 2013.

IRAS06053+1837

Our result of B V R observations are compiled in table 3 and in figure 3, where our data are added by the results from [4].

Table 3 – Photometric data for the object IRAS 06053+1837

Date of observations	JD-2400000	Bmag	Vmag	Rmag
14.10.2012	56215.150	12.532±0.020	11.876±0.022	11.779±0.020
24.10.2014	56955.192	12.595±0.024	11.934±0.025	11.937±0.018
24.01.2018	58143.225	13.135±0.028	11.837±0.020	11.644±0.019
05.01.2019	58489.163	12.910±0.022	11.894±0.022	11.731±0.020
25.01.2019	58509.130	13.027±0.032	11.995±0.024	11.921±0.022

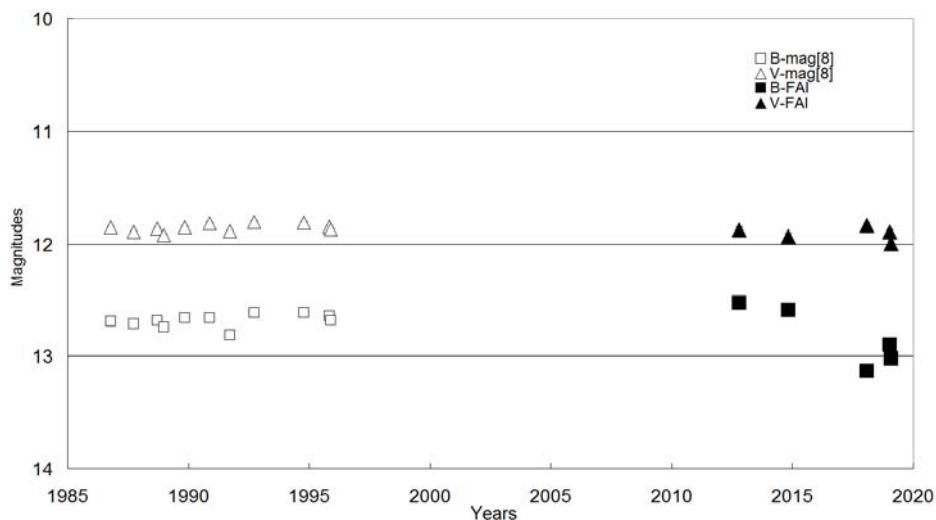


Figure 3 – Light curves of the object IRAS06053+1837 in the B and V bands. Our data data are indicated by squares (B mag) and triangles (V mag). Results from [4] are indicated by the same, but empty signes

Table 4 – Absolute fluxes and equivalent widths of the emissions lines in the spectrum of IRAS 06053+1837

Date of observations	JD-2400000	F(H β)*10 ¹³ ergs/cm ² sec	EW(H β) (Å)	F(H α)*10 ¹² ergs/cm ² sec	EW(H α) (Å)
24.10.2014	56955.20	1.82±0.20	2.0±0.20	2.83±0.20	19.7±1.2
27.10.2016	57689.14			2.36±0.25	16.1±1.4
02.12.2018	58455.10			2.39±0.22	19.4±1.2
04.12.2018	58457.08				
05.12.2018	58458.08	1.42±0.16	1.1±0.12		
05.01.2019	58489.36	1.50±0.20	1.4±0.12		
06.01.2019	58490.36			2.07±0.22	19.9±1.2
20.03.2020	58929.06			2.10±0.25	19.6±1.2

It can be noted that over the past six years the absolute fluxes in the emission lines has decreased by 20 -25%. It is clear that an additional experimental information for this object is required.

Conclusion. In terms of evolution, the object IRAS 22023+5249 can represent a transitional stage from the Post-AGB stars to planetary nebulae. A shell consisting of gas and dust has already formed around the star, and the process of its filling is continued. Irregular variability of brightness is most likely connected with the change of circumstellar envelope. The low excitation of gas in the envelope is due to the quite low temperature of the central source. But observable tendency of gradual increasing of brightness means that the star becomes hotter. Strengthening of the emission line also confirm this transformation of the star.

The object IRAS 06053+1837 Has rather poor emission spectrum, without any forbidden lines. Asymmetrical profile of H α testifies the presence of stellar wind, due to which the forming of accretion disk and/or circumstellar envelope is continuing. The evolutionary status of the object is not defined; its characteristics, are more similar to those of the young AeBe Herbig stars.

Acknowledgments

The work was supported by the funding program BR05236322 of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

**Кондратьева, Э.К. Денисюк, И.В. Рева, М.А. Кругов,
Г.К. Айманова, Б.К. Омар, Б.А. Урмашев, А.Т. Майлыбаев**

В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

ЕКІ НЫСАННЫҢ IRAS 22023+5249 ЖӘНЕ IRAS 06053+1837 СПЕКТРАЛДЫ ЖӘНЕ ФОТОМЕТРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУІ

Аннотация. Планетарлық тұманның пайда болуы мен эволюциясының жалпы көрінісі осы объектілер туралы жаңа ақпаратпен үнемі және сәтті жаңартылып отырады. Планетарлық тұман бақылау радиотолқыннан рентгенге дейінгі толқындардың кең диапазонында жүзеге асырылады. Планетарлық тұманның тез эволюциялық предшественниктері мәселесі өзекті болып қала бер. Көптеген Ве жұлдыздарының жұлдыз атмосферасынан тез айналуының арқасында пайда болған. Жартылай иондалған газ H I, [O I], Fe I, [Fe II] эмиссиялық сызықтарын шығарады, басқаша айтқанда, төмен қозу планетарлық тұмандық спектріне ұқсас спектрге

Соңғы жылдары IRAS каталогында планетарлық тұманның эволюциялық прекурсорлары мәртебесіне үміткерлер анықталды. Оларда планетарлық тұманға тән инфрақызыл түс индикаторлары бар және бұл өлшем оларды басқа типтегі объектілерден ажырату үшін қолданылады. IRAS каталогындағы көптеген нысандарда қозу аз. Әдетте мұндай объектілер белсенділіктің жоғарылауымен сипатталады, олар фотометриялық және спектрлік өзгергіштік түрінде көрінеді.

Бұл мақалада екі объектіні зерттеу нәтижелері қарастырылған: IRAS 22023 + 5249, IRAS 06053 + 1837.

Нысан IRAS 22023 + 5249 = LS III + 52°54 = GGR 44 = TYC 3969-2206-1 бастапқыда эмиссиялық сызықтары бар жұлдыздар каталогына енгізілген. Инфрақызыл бақылаулар шаңның болуын анықтады. Жоғары ажыратымдылықтағы спектрлік бақылаулар объектінің гелиоцентрлік жылдамдығы жоғары екенін көрсетті, ал жұлдыздың тиімді температурасы 24000К құрайды.

IRAS 22023+5249 нысанының 2017–2020 жж. орындалған В V фотометриясы сәйкесінше В және V жолақтарында шамамен $0^m.25$ және $0^m.10$ жұлдыздық шама дисперсиясын көрсетті. Нысанның спектрінде H β , H α , [NII], 6548, 6583A, [SII], 6717, 6731A және HeI, 6678A эмиссиондық сызықтардың абсолютті ағындары мен эквиваленттік ені анықталды, сонымен қатар олардың біртіндеп күшеюі тіркелді. Сонымен, соңғы 10 жыл ішінде H α және [NII] сәулелену сызықтарындағы сәулелену 1,5 есе өсті. [SII], 6717, 6731A сызықтарының қатынасынан анықталған газдың электронды тығыздығы $N_e = 3800 \pm 800 \text{ см}^{-3}$ құрайды. Орталық жұлдыз температурасының артуы нысанның бақыланып отырылған құбылыстарына жауапты секілді.

Жалпы айтқанда IRAS 22023+5249 нысанының спектралды және фотометриялық сипаттамалары өзінің жағдайына, яғни төменгі қозудағы планетарлық тұмандыққа сай.

Нысан IRAS 06053 + 1837 = LkHa 209 көптеген бақылау бағдарламаларының қатысушысы болды. Оның жіктелуі әрдайым өзгеріп отырды: K класындағы жұлдыздан протопланетарлық тұманға дейін. Жалпы, бұл объект туралы ақпарат айтарлықтай шектеулі. Әдебиетте 1986 - 1995 жылдары алынған фотометриялық мәліметтер бар.

IRAS 06053+1837 атты нысанға бақылау мәліметтері 2012 -2019жж. алынды. Сәйкесінше, бұл нысанда В V R шамалары мәндерінің айтарлықтай үлкен шашылымы байқалады: $0^m.50$, $0^m.15$, $0^m.30$ спектрде сутектің эмиссиялық сызықтары ғана бар. Сызықтардың ассиметриялық профильдері қысқа толқындық шекарада кең қанатқа ие. Нысанның эволюциялық мәртебесі белгісіз, өзінің жеке сипаттамаларына орай Хербиғтің AeBe типті жас жұлдыздарға ұқсас.

Түйін сөздер: эмиссиялық нысандар, эмиссиялық сызықтар, В V шамалар, жеке нысандар: IRAS 22023+5249, IRAS 06053+1837.

**Л.Н. Кондратьева, Э.К. Денисюк, И.В. Рева, М.А. Кругов,
Г.К. Айманова, Б.К. Омар, Б. А. Урмашев, А.Т. Майлыбаев**

Астрофизический институт В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХ ОБЪЕКТОВ IRAS 22023+5249 И IRAS 06053+1837

Аннотация. Общая картина происхождения и эволюции планетарных туманностей постоянно и успешно пополняется новой информацией об этих объектах. Наблюдения планетарных туманностей проводятся в широком диапазоне длин волн от радиодиапазона до рентгеновского. Проблема непосредственных эволюционных предшественников планетарных туманностей сохраняет свою актуальность. Известно, что многие звезды класса Ве обладают околозвездной оболочкой, которая сформировалась из атмосферы звезды, благодаря ее быстрому вращению. Околозвездные оболочки, частично ионизованные, излучают эмиссионные линии H I , [O I], Fe I , [Fe II], иными словами, имеют спектр, подобный спектру планетарных туманностей низкого возбуждения. В последние годы кандидаты на статус эволюционных предшественников планетарных туманностей выявлены в каталоге IRAS. Они имеют инфракрасные показатели цвета, типичные для планетарных туманностей, и именно этот критерий используется для того, чтобы отличить их от объектов других типов. Многие объекты из Каталога IRAS уже имеют спектры низкого возбуждения. Как правило, подобные объекты отличаются повышенной активностью, которая проявляется в виде фотометрической и спектральной переменности.

В данной статье обсуждаются результаты исследования двух объектов: IRAS 22023+5249, IRAS 06053+1837

Объект IRAS 22023+5249=LS III+52°54=GGR 44=TYC 3969-2206-1 первоначально входил в каталог звезд с эмиссионными линиями. Инфракрасные наблюдения выявили присутствие пыли. Спектральные наблюдения с высоким разрешением показали, что объект имеет высокую гелиоцентрическую скорость, и эффективная температура звезды составляет 24000K.

Наши фотометрические наблюдения, проведенные в 2017 – 2020 гг., показали высокую дисперсию звездных величин порядка $0^m.25$ и $0^m.10$, в В и V полосах, соответственно. Более того, наблюдается тенденция постепенного усиления блеска. В спектре объекта определены абсолютные потоки и эквивалентные ширины эмиссионных линий H β , H α , [NII], 6548, 6583A, [SII], 6717, 6731A and HeI, 6678A. Отмечается постепенное усиление абсолютных потоков, особенно заметное в «красном» диапазоне спектра. Так, за последние 10 лет излучение в эмиссионных линиях H α и [NII] увеличилось в 1.5 раза. Электронная плотность газа, определенная по отношению линий [SII], 6717, 6731A, составляет $N_e=3800\pm 800\text{см}^{-3}$.

Наблюдаемые изменения объекта IRAS 22023+5249 можно объяснить повышением эффективной температуры центральной звезды. В целом спектральные и фотометрические характеристики данного объекта соответствуют его статусу – планетарной туманности низкого возбуждения.

Объект IRAS 06053+1837 = LkHa 209 был участником многих наблюдательных программ. Его классификация все время менялась: от звезды класса К до протопланетарной туманности. В целом информация об этом объекте довольно ограниченная. В литературе есть фотометрические данные, полученные в 1986–1995 гг.

Наши наблюдения объекта IRAS 06053+1837 выполнялись в 2012–2020 гг. Фотометрические данные показали, что блеск объекта долгое время находится на одном уровне, но дисперсия значений достаточно велика: $0^m.50$, $0^m.15$ и $0^m.30$, в В V R полосах, соответственно. В 2019г намечилось небольшое ослабление блеска, особенно заметное в полосе В. В спектре IRAS 06053+1837 присутствуют только эмиссионные линии водорода. Ассиметричные профили линий имеют широкие крылья на коротковолновой границе, что свидетельствует о наличии звездного ветра. Эволюционный статус объекта не определен, по своим характеристикам он похож на молодые звезды типа AeBe Хербига.

Ключевые слова: эмиссионные объекты, эмиссионные линии, В V величины, индивидуальные объекты: IRAS 22023+5249, IRAS 06053+1837.

Information about authors:

Kondratyeva L.N., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. lu_kondr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6302-2851>;

Denissyuk E.K., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. eddenis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5020-2557>;

Reva I.V., Junior researcher, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. alfekka@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9944-8398>;

Krugov M.A., Engineer V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. mkrugov@astroclub.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2788-2176>;

Aimanova G. K., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. agauhar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3869-8913>;

Omar B.K- Engineer, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. bauka_beka9296@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2423-6424>;

Urmashv B.A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. baydaulet.urmashev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>;

Mailybayev A.T., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, V.G. Fesenkov Astrophysical Institute. excor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0967-0727>

REFERENCES

[1] Ratag M.A., Pottasch S.R., Zijlstra A.A., et al. (1990) Planetary nebulae near the galactic center. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 233. P.181. (in Eng.).

[2] Van de Steene G.C., Pottasch S. R. (1995) Radio continuum observations of planetary nebula candidates from the northern hemisphere. *Astronomy and Astrophysics*. Vol 299. P.238. (in Eng.).

[3] Wackerling L. R. (1970) A catalogue of early-type stars whose spectra have shown emission lines. *MNRAS*. Vol. 73. P. 153. (in Eng.).

[4] Cerrigone, L., Hora, J. L., Umana, G., & Trigilio, C. (2009). Spitzer Detection of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Silicate Features in Post-AGB Stars and Young Planetary Nebulae. *The Astrophysical Journal*. Vol. 703. P.585. DOI:10.1088/0004-637X/703/1/585 (in Eng.).

[5] Gauba G., Parthasarathy M. (2004). Circumstellar dust shells of hot post-AGB stars. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 417. P. 201. DOI: [10.1051/0004-6361:20031769](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20031769) (in Eng.).

[6] Sarkar G., Garcia-Hernandez D.A., Parthasarathy M., et al. (2012). High resolution spectroscopy of the high velocity hot post-AGB star LS III+52+24 (IRAS 22023+5249). *MNRAS*. Vol. 421. P. 679. DOI: [10.1111/j.1365-2966.2011.20345.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.20345.x) (in Eng.).

[7] Arkhipova V.P., Burlak M.A., Esipov V.F. et al. (2013). Nonstationarity of Hot Post-AGB Objects: Variations of the Brightness and Spectrum of IRAS 01005+7910, IRAS 22023+5249, IRAS 22495+5134. *Astronomy Letters*. Vol. 39. P. 619. DOI: [10.1134/S1063773713090016](https://doi.org/10.1134/S1063773713090016) (in Eng.).

[8] Grankin K.N., Melnikov S.Yu., Bouvier J., et al. (2007). Results of the ROTOR-program. I. The long-term photometric variability of classical T Tauri stars. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 461. P.183. DOI: [10.1051/0004-6361:20065489](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065489) (in Eng.).

[9] Herbst W., Shevchenko V.S. (1999) A photometric catalog of Herbig Ae/Be stars and discussion of the nature and cause of the variations of UX Orionis stars. *The Astronomical Journal*. Vol. 118. P.1043. DOI: [10.1086/300966](https://doi.org/10.1086/300966) (in Eng.).

[10] Landolt A. (2013). UBVRI photometric standard stars around the sky at +50 deg declination. *The Astronomical Journal*, Vol. 146. P. 131. DOI: [10.1088/0004-6256/146/5/131](https://doi.org/10.1088/0004-6256/146/5/131) (in Eng.).