

Спектральный и фотометрический мониторинг LBV кандидата J004341.84+41112.0 в галактике M31

А. Саркисян^{1*}, О. Шолухова¹, С. Фабрика¹, А. Валеев¹, А. Валчева², П. Недялков², А. Татарников³

¹ Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН),

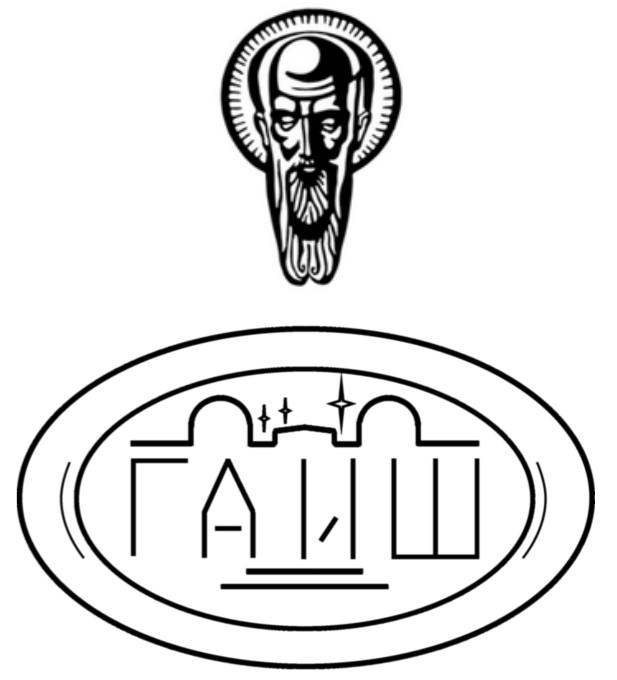
Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия, 369167, Россия

² Department of Astronomy, Sofia University, 5 J. Bourchier blvd, Sofia 1164, Bulgaria

³ Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ (ГАИШ МГУ),

Университетский проспект 13, Москва, 119234, Россия

* e-mail: ars@sao.ru



В работе изучается кандидат в яркие голубые переменные (Luminous Blue Variable, LBV) J004341.84+41112.0 в галактике Андромеда. Представлены результаты оптической спектроскопии LBV кандидата, выполненной на телескопе БТА САО РАН. Спектр объекта показывает характерные для LBV особенности: широкие и сильные линии водорода и He I, имеющие форму Р Лебеда. Более того удивительное спектральное сходство с самим Р Лебедя, одной из самых известных LBV звезд, говорит об общей природе объектов и подтверждает классификацию J004341.84+41112.0 как LBV. На основе спектрального распределения энергии звезды мы оценили межзвездное поглощение, ее температуру, радиус и, соответственно, болометрическую светимость. Полученная оценка болометрической светимости ($M_{bol} = -10.41 \pm 0.12$ зв. вел.) хорошо согласуется с соответствующими значениями для известных LBV в галактике Андромеды. Мы проанализировали кривую блеска объекта в фильтре R за последние 10 лет. Кандидат показывает фотометрическую переменность с амплитудой порядка 0.4 зв. вел. с общим трендом увеличения блеска $\Delta R > 0.1$ зв. вел. При этом соответствующее изменение цвета объекта полностью соответствует поведению LBV, когда звезда становится холоднее и ярче при сохранении болометрической светимости. Переменность объекта типа S Золотой Рыбы, идентичность его спектра спектру Р Лебеда, а также соответствие его болометрической светимости других известных LBV, позволили классифицировать J004341.84+41112.0 как LBV.

Введение

Объект исследования был выбран из списка LBV кандидатов, составленным Массеем и др. (2007, 2016). Эта звезда была впервые представлена как LBV кандидат в 2006 году (Massey, 2006) и за удивительную спектральную схожесть с одной из известнейших LBV, Р Лебеда, была названа "Двойником Р Лебеда в M31". Тем не менее, несмотря на указанную спектральную близость к Р Лебедю, на том момент автору не удалось обнаружить переменность объекта и, соответственно, подтвердить статус LBV. Очень широкий диапазон спектральных особенностей LBV звезд (Humphreys et al., 2014) и различные типы их фотометрической переменности на разных временных отрезках (van Genderen, 2001) существенно осложняют классификацию таких звезд. Одним из главных характеристических признаков LBV звезд является наличие у них переменности типа S Золотой Рыбы, когда звезда холоднее и становится ярче либо, наоборот, становится горячее и слабеет в оптическом диапазоне при сохранении примерно постоянной болометрической светимости (Humphreys & Davidson, 1994). Используя этот признак как главный классификационный критерий для LBV звезд, мы предприняли попытку доказать, что объект J004341.84+41112.0 принадлежит к классу LBV звезд.

Наблюдения

Оптические спектры J004341.84 были получены при помощи редуктора светосилы SCORPIO (Afanasyev & Moiseev, 2005) на 6-метровом телескопе БТА САО РАН в октябре 2012 г., октябре 2019 г., сентябре 2020 г. и октябре 2021 г. Ряд фотометрических наблюдений объекта также был проведен при промоции SCORPIO: в дополнение к фотометрии проведенной одновременно со спектральными наблюдениями объект был также снят в январе 2015 г. и сентябре 2016 г. Кроме того фотометрические данные в оптическом диапазоне для звезды были получены на 50/70-сантиметровом телескопе Шмидта NAO Rozhen (Bulgaria), оснащенный ПЗС камерой: наблюдения охватывали период с июля 2016 по июль 2019 г. и производились преимущественно в В и R фильтрах. Фотометрические данные в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне для объекта были получены при помощи камеры ASTRONIRCAM (Nadjip et al., 2017) на 2.5-метровом телескопе Кавказской Горной Обсерватории (КГО) ГАИШ МГУ (Shatsky et al., 2020) в декабре 2018 г.

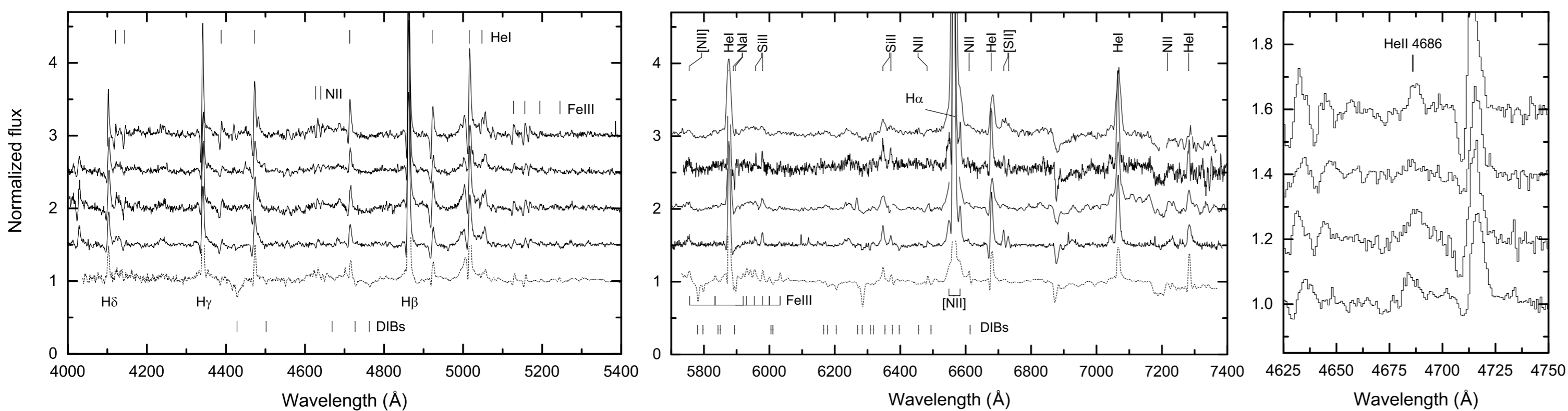


Рис. 1. Оптический спектр J004341.84 и MN112. Сплошными линиями показаны спектры J004341.84 полученные в 2012, 2019, 2020 и 2021 гг. (сверху вниз). Для сравнения пунктирной линией показан спектр MN112 из работы Sarkisyan et al. (2020). Отождествлены основные спектральные линии и полосы межзвездного поглощения. На крайней левой панели показан оптический спектр J004341.84 в районе линии He II 4686: хорошо заметно значительное ослабление линии He II в 2019 г. по отношению к 2012 г. и обратное ее усиление в 2020 и 2021 гг.

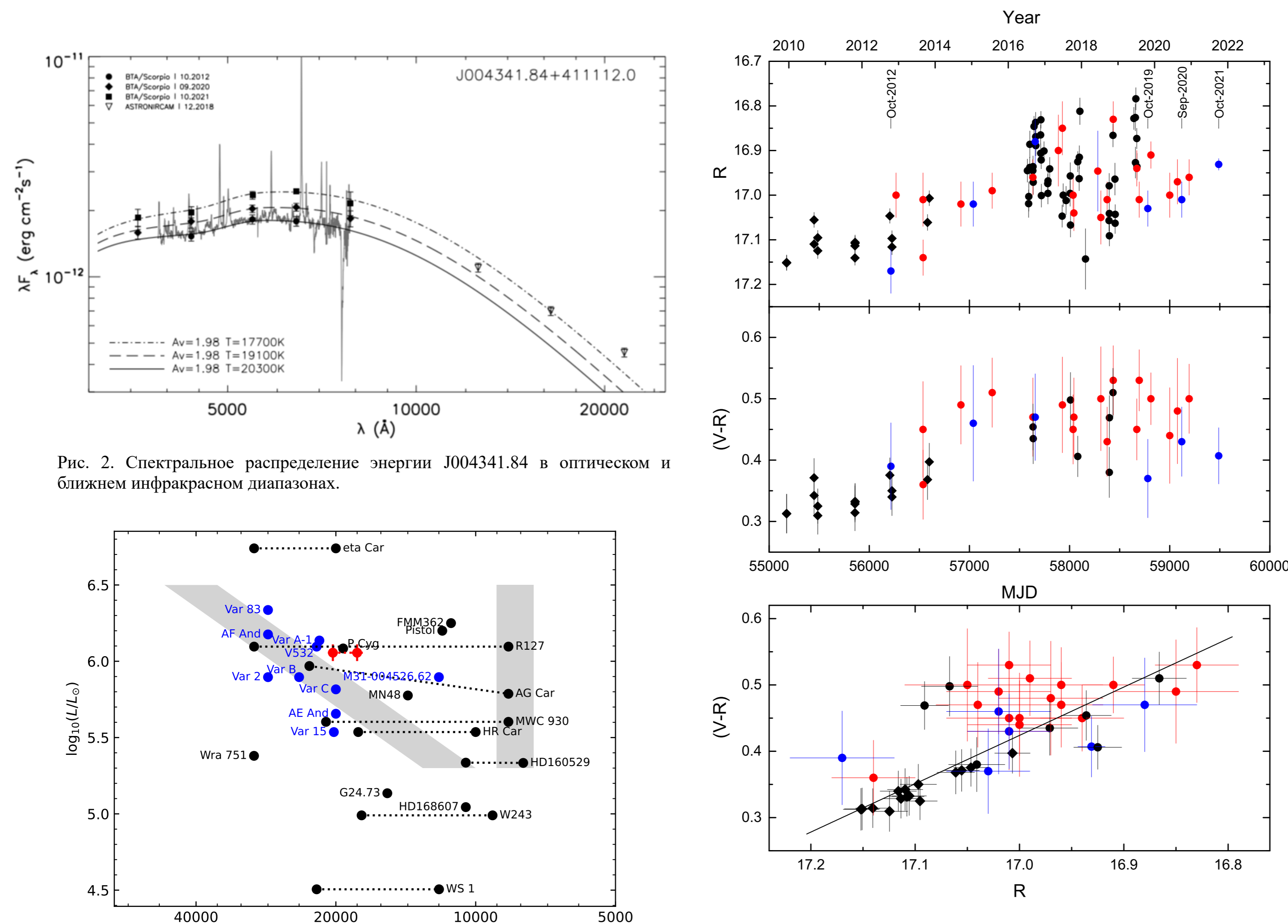


Рис. 2. Спектральное распределение энергии J004341.84 в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Список литературы

- Massey, P. 2006, *ApJ*, 638, L93
- Massey, P., et al. 2007, *AJ*, 134, 2474
- Massey, P., Neugent, K. F., & Smart, B. M. 2016, *AJ*, 152, 62
- Humphreys, R. M., & Davidson, K. 1994, *PASP*, 106, 1025
- Humphreys, R. M., & Davidson, K. 1994, *PASP*, 106, 1025
- van Genderen, A. M. 2001, *A&A*, 366, 508
- Afanasyev, V. L., & Moiseev, A. V. 2005, *Astronomy Letters*, 31, 194
- Nadjip, A. E., et al. 2017, *Astrophysical Bulletin*, 72, 349
- Shatsky, N., et al. 2020, in *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century*, ed. I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, & D. O. Kudryavtsev, 127
- Sarkisyan, A., et al. 2020, *MNRAS*, 497, 6875, 605
- Gvaramadze, V. V., et al. 2010, *MNRAS*, 405, 520
- Kostenkov, A., et al. 2020, *MNRAS*, 496, 5455
- Stahl, O., et al. 1993, *A&AS*, 99, 167
- Stahl, O., et al. 1983, *A&A*, 127, 49
- Stahl, O., & Wolf, B. 1986, *A&A*, 154, 243
- Walborn, N. R., et al. 2017, *AJ*, 154, 15
- Fitzpatrick, E. L. 1999, *PASP*, 111, 63
- Riess, A. G., et al. 2012, *ApJ*, 745, 156
- Wolf, B. 1989, *A&A*, 217, 87
- Humphreys, R. M., et al. 2017, *ApJ*, 844, 40
- Smith, N., et al. 2019, *MNRAS*, 488, 1760
- Chambers, K. C., et al. 2016, *ArXiv e-prints*, arXiv:1612.05560
- Martin, J. C., & Humphreys, R. M. 2017, *AJ*, 154, 81
- Lamers, H. J. G. L. M., et al. 1998, *A&A*, 335, 605

Спектроскопия

На рисунке 1 показаны оптические спектры нашего объекта. Так же на рисунке приведен спектр LBV кандидата из нашей Галактики MN112 взятый из работы Sarkisyan et al. (2020). Мы использовали спектр MN112 для сравнения поскольку он практически идентичен спектру Р Лебеда (Gvaramadze et al., 2010; Kostenkov et al., 2020). Из рисунка 1 очевидно, что все спектры J004341.84 очень близки к спектру MN112 и, соответственно, к спектру Р Лебеда. Нетрудно также убедиться в спектральной схожести кандидата J004341.84 и Р Лебеда непосредственно сравнив наши спектры со спектром Р Лебеда из работы Stahl et al. (1993): как и в спектре Р Лебеда, в спектре J004341.84 доминируют сильные линии водорода и He I, линии бальмеровской серии имеют широкие крылья и достаточно слабые абсорбционные компоненты профиля Р Лебеда, в то время как линии He I и Fe III показывают сильные профили Р Лебеда, также присутствуют линии Fe III, Si II, N II. Такая спектральная схожесть звезды с Р Лебедю говорит об общей природе объектов и является весомым аргументом в пользу классификации J004341.84 как LBV звезды.

Наши спектры подтверждают предыдущую спектральную классификацию объекта как звезды класса Of/late-WN (Massey et al., 2007; Humphreys et al., 2014). Тем не менее, мы хотели бы обратить внимание на ряд спектральных особенностей объекта, наблюдаемых в наших спектрах: водородные линии имеют профили Р Лебеда, отсутствие характерных для Of/late-WN звезд линий N III 4634-40-42 и слабость линии He II 4686, являющейся одной из ключевых для классификации Of/late-WN звезд. Более того, в ходе нашего спектрального мониторинга мы обнаружили переменность линии He II 4686. На рисунке 1 (крайняя левая панель) показано, как линия He II 4686 существенно ослабевает в 2019 году по отношению к 2012 году и обратно усиливается в 2020 и 2021 гг. Схожее поведение с исчезновением линии He II 4686 ранее было продемонстрировано двумя Of/late-WN звездами R127 (Stahl et al., 1983) и HDE 269582 (Stahl, 1986), которые в последствии были классифицированы как LBV (Walborn et al., 2017). На основании этого мы считаем, что переменность линии He II указывает на LBV нестабильность у звезды J004341.84.

Спектральное распределение энергии и светимость

На рисунке 2 показано спектральное распределение энергии (SED) J004341.84 и результаты его аппроксимации чернотельным спектром с учетом межзвездного поглощения (Fitzpatrick, 1999). Для построения SED использовались данные оптической фотометрии SCORPIO и фотометрии в ближнем ИК диапазоне с камеры ASTRONIRCAM. Для лучшей визуализации показаны только данные за 2012, 2018, 2020, 2021 гг. и спектр 2012 г. В результате аппроксимации SED нам удалось с достаточной точностью определить величину межзвездного поглощения ($A_V = 1.98 \pm 0.06$) и соответственно, светимость объекта ($M_{bol} = -10.41 \pm 0.1$). При расчетах мы полагали расстояние до галактики M31 равным 752 ± 27 кпс (Riess et al., 2012). Наша оценка светимости очень хорошо согласуется с оценкой, полученной Massey (2006), и соответствует значениям светимостей других LBV звезд в галактике M31 (Humphreys et al., 2014). Основываясь на полученных параметрах звезды мы нанесли J004341.84 на диаграмму Гершпрунга-Рассела, показанную на рисунке 3. Как видно из рисунка объект располагается в непосредственной близости к полюсе нестабильности LBV звезд (Wolf, 1989) и удивительно близко к Р Лебеда и R127.

Фотометрия и кривая блеска

На рисунке 4 представлена кривая блеска J004341.84 в R фильтре, построенная по нашим и архивным данным с 2010 по 2021 г. Кандидат показывает фотометрическую переменность с амплитудой порядка 0.4 зв. вел. Хотя изменение яркости не очень большое, тем не менее кривая блеска отчетливо демонстрирует общий тренд увеличения блеска $\Delta R > 0.1$ зв. вел. за последние 10 лет. Этого вполне достаточно для классификации кандидата как LBV в «спящем» (спокойном) состоянии (van Genderen, 2001). Более того, изменение цвета объекта явно говорит в пользу его LBV классификации. Как видно из рисунка 4, показатель цвета объекта (V-R) увеличивается со временем и, что более важно, с увеличением яркости, соответствующем уменьшению эффективной температуры объекта. Такая картина полностью соответствует поведению LBV звезд, когда они при сохранении примерно постоянной светимости становятся ярче по мере уменьшения температуры в следствие раздувания (Humphreys & Davidson, 1994). Поскольку такая переменность является определяющей для LBV (Lamers et al., 1998; van Genderen, 2001), то кривая блеска J004341.84 подтверждает его LBV статус.

Благодарности

Работа поддержана РФФИ и NSFB в рамках проекта № 19-52-18007.