

О природе фотометрической активности молодой звезды V2492 Cyg

А.А. Архаров^{1,*}

¹ГАО РАН

* *e-mail*: arkadi@arharov.ru

Аннотация

В статье даётся краткий обзор работ, выполненных в течение нескольких лет по исследованию фотометрической активности молодой звезды V2492 Cyg. После обнаружения вспышки этой звезды в августе 2010 г были проведены интенсивные многоволновые фотометрические и спектральные наблюдения, на основе которых были получены противоречивые результаты относительно классификации объекта и, как следствие, определения основного механизма, ответственного за переменность излучения. Первоначальное утверждение, что это «уксор» и его переменность обусловлена экстинкцией на луче зрения, вступила в противоречие с данными спектроскопии, которые указывали на явное присутствие истечения вещества, вызванного аккрецией. В настоящее время считается, что фотометрическая активность обусловлена как аккрецией вещества из диска на звезду, так и переменной экстинкцией, вызванной различными газопылевыми структурами на луче зрения.

Введение

Звёзды типа Т Тельца (Т Тау) - это переменные молодые звёзды до главной последовательности (ДГП) с массами менее двух солнечных. У них поверхностные температуры такие же, как и у звезд главной последовательности, но светимости и радиусы больше. Температура внутри звезды недостаточна для запуска термоядерной реакции горения водорода, звезда излучает за счет гравитационного сжатия. Они являются мощнейшими источниками излучения в рентгеновском и радиодиапазоне (примерно в тысячу раз мощнее, чем Солнце). Причинами переменности могут быть пятна на поверхности звезды, истечение вещества с поверхности (звёздные ветры), околзвёздные пылевые диски (протопланетные).

При массе от 2 до 8 солнечных звезды типа Т Тельца называются звёзды Хербига (Ае/Ве). Они относятся к спектральным классам А и В, имеют эмиссионные спектры, иногда демонстрируют слабую переменность, вероятно, за счёт покрытия протопланетами.

Звезды типа FU Ориона («Фуоры») – редкий тип нестационарных звёзд, находящихся на ранней стадии звёздной эволюции. Они демонстрируют редкие, но значительные подьёмы яркости с длительными периодами спада и спокойного состояния.

Близкий к Фуорам тип вспыхающих звёзд – «Эксоры» (типа EX Волка). В обоих случаях вспышки объясняются явлениями аккреции вещества из околзвёздного диска (CSD) на звезду, при этом характер переменности определяется как темпом аккреции, так и неоднородностями самого диска.

Звёзды типа UX Ориона «Уксоры» принципиально отличаются от вспыхающих звёзд тем, что их переменность связана с изменениями околзвёздной экстинкции на луче зрения, вызванной затмениями звёзд неоднородными непрозрачными газопылевыми облаками. Этот тип переменности характеризуется большими амплитудами изменений блеска, достигающими в отдельных случаях более 5^m , и наблюдается в основном у молодых звёзд промежуточных масс. Типичным представителем таких звезд является звезда UX Ori.

Из приведённой выше классификации нам будут интересны объекты, нестационарность которых обусловлена либо экстинкционной (UXor-тип), либо аккреционной (EXor-тип) переменностью. Количество звёзд обоих типов довольно ограничено, всего несколько десятков, но даже для них существует проблема надежного определения принадлежности к тому или иному типу.

Именно такой объект, звезда V2492 Cyg, является предметом нашего дальнейшего обсуждения. Она была открыта как новая переменная в 2010 г после постепенного, но беспрецедентного роста амплитуды почти на 5 вел. (Itagaki, Yamaoka, 2010; Munari et al., 2010). Фотометрические и спектроскопические наблюдения объекта V2492 Cyg показали, что он может принадлежать к классу молодых эруптивных звезд Фуоров или Эксоров. Однако дальнейший мониторинг показал, что этот объект не вписывается в классические группы ни тех, ни других. В течение нескольких лет благодаря интенсивным фотометрическим наблюдениям, в том числе в ближнем ИК-диапазоне, выполненным астрономами ГАО РАН на российском телескопе АЗТ-24 в Италии, звезду считали представителем класса Уксоров, переменность которой объяснялась только экстинкцией на луче зрения. Однако этот вывод противоречит результатам спектральных исследований, из которых следует явное влияние аккреции на переменность звезды. В настоящее время исследователи сошлись на том, что имеют место оба сценария, определяющие сложную картину фотометрического поведения звезды. Необходимы дальнейшие длительные ряды фотометрических и спектральных наблюдений, чтобы понять, каково соотношение ролей обоих механизмов в бурной активности этого интересного объекта.

В ГАО РАН планируется продолжение комплексных исследований звезды V2492 Cyg, в том числе поляризационных, с использованием как собственного телескопа LX200, так и более крупных инструментов других обсерваторий.

Ниже дается краткий обзор работ по фотометрии и спектроскопии звезды V2492 Cyg.

Фотометрический мониторинг

Новая переменная вызвала большой интерес у астрономов, и в течение последующих трех лет после вспышки было опубликовано несколько работ по исследованию этой звезды. Kóspál et al. (2013) провели исследования источника на десяти различных длинах волн в ИК, от 0,55 мкм до 2,2 мкм с Земли и от 3,6 мкм до 160 мкм из космоса. Авторы собрали и проанализировали собственные и опубликованные данные, на основании которых провели исследование структуры молекулярного облака, в котором находится V2492 Cyg. Обнаружено, что формы кривых блеска на разных длинах волн очень близки (рис. 1). Этот

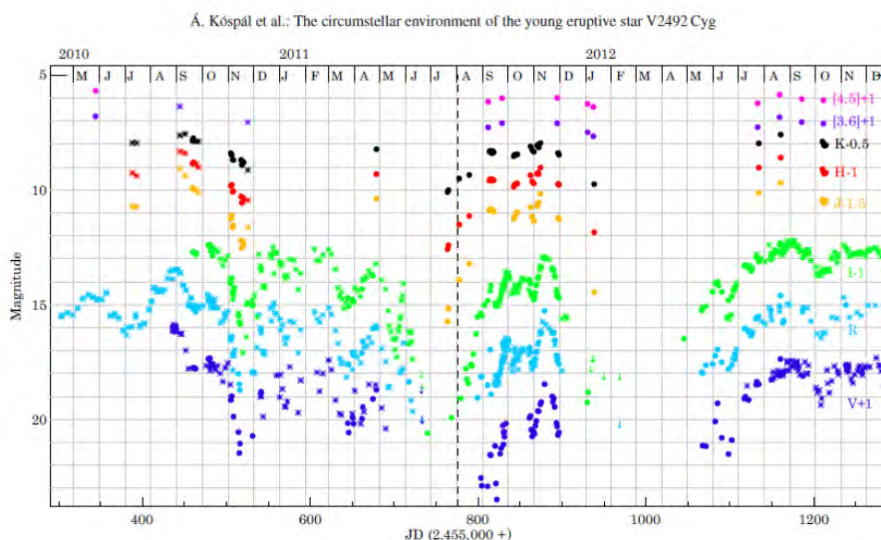


Рис. 1: Многоцветная фотометрия V2492 Cyg в полосах VRIJHKLM

результат и тот факт, что между различными кривыми нет временных задержек, указывают на единый физический механизм, лежащий в основе переменности. Делается вывод, что наблюдаемая переменность связана, в основном, с одним физическим процессом, скорее всего, переменной экстинкцией. Предполагая, что центральный источник эпизодически закрывается плотным пылевым облаком во внутреннем диске, и, основываясь на неизменности потоков в дальнем инфракрасном диапазоне, делается вывод, что это долгоживущая, а не временная структура. Этот вывод говорит в пользу принадлежности V2492 Cyg к классу Уксоров. Примерно в этот же период Hillenbrand et al. (2013) получили результаты собственной новой фотометрии и спектроскопии V2492 Cyg, включая данные других авторов в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне, а также данные в среднем инфракрасном и миллиметровом диапазонах (рис. 2). Результаты спектроскопии будут обсуждаться в следующей главе, а здесь представлена фотометрия, полученная разными авторами. Общий вид кривых блеска в четырех полосах RJHK хорошо согласуется по форме с аналогичными графиками на рис. 1. На том же рисунке 2 (правая панель) представлены кривые блеска в полосах JHK, полученные на телескопе АЗТ-24 в Италии за период более четырёх лет. Простое рассмотрение рисунков 1 и 2 подтверждает предположение Коспала о существовании единого механизма, ответственного за переменность излучения V2492 Cyg, и это экстинкция на луче зрения.

В декабре 2016 г. Giannini et al. (2018) зафиксировали очередное усиление яркости V2492 Cyg, достигшее рекордного значения за всю историю наблюдений, $R = 13.45^m$. Авторы получили фотометрические данные в четырех оптических и трех ИК полосах в период с июля 2016 по май 2017 г. (рис. 3), характер которых сильно напоминает вспышку 2010 г. В феврале 2017 были получены спектры высокого и среднего разрешения, позволившие оценить поглощение, темп аккреции и скорость истечения вещества.

Наконец, наиболее обширные фотометрические данные в оптическом диапазоне получены болгарскими астрономами (Ibraymov et al., 2018; Ibraymov, Semkov, 2021). Кривые блеска в оптических полосах BVRI охватывают 11-летний период, начиная с 2010 г и до октября 2020. На рис. 4 изображена кривая блеска V2492 Cyg в полосе I, в других полосах формы кривых полностью идентичны.

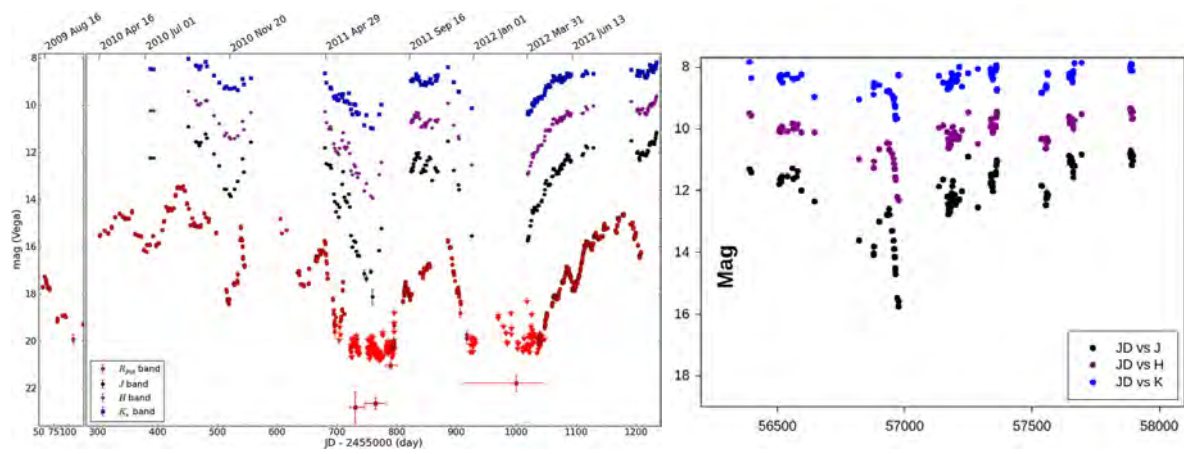


Рис. 2: Кривые блеска в полосах ЖНК (Хилленбранд – слева, АЗТ-24 - справа)

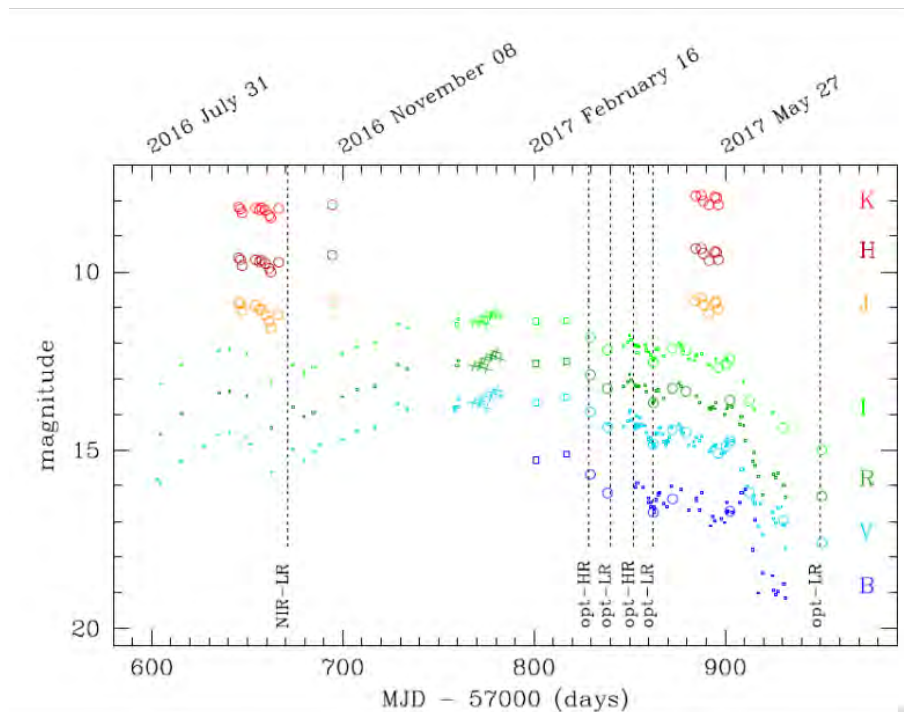


Рис. 3: Фаза исторического максимума блеска V2492 Суг

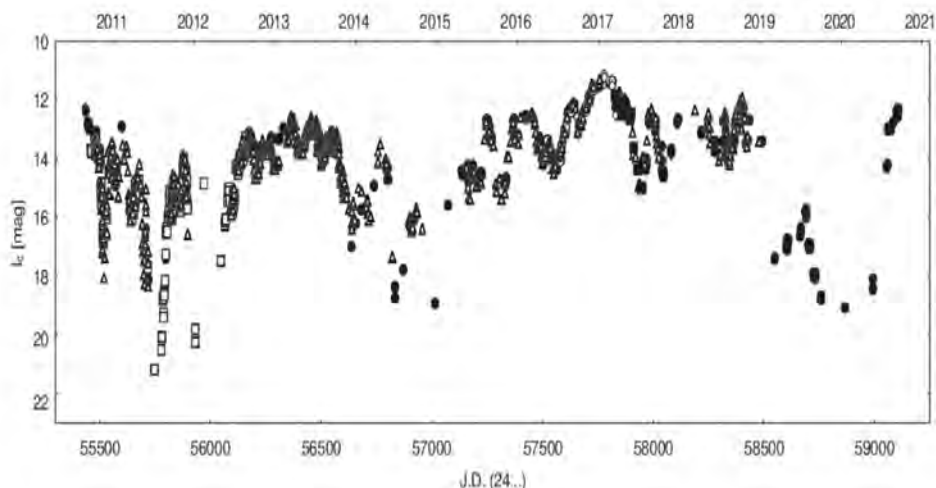


Рис. 4: Кривая блеска V2492 Cyg за период с августа 2010 по сентябрь 2020

Как и на предыдущих графиках, представленных на рисунках 1 и 2, кривые блеска характеризуются глубокими провалами, до 6^m и более, и периодическими всплесками яркости. Для всех графиков справедливо утверждение, что во всех спектральных диапазонах отсутствуют временные задержки и эти факторы говорят о преимущественном экстинкционном сценарии переменности. Однако, данные спектральных наблюдений противоречат этому выводу.

Спектральные наблюдения

Первые спектральные наблюдения V2492 Cyg были получены в июле 2010 г. в рамках сводного Паломарского обзора PTF (Covey et al., 2011), четыре спектра в оптическом и два в ближнем ИК диапазонах. На рисунке 5 изображён оптический спектр, полученный на 10-м телескопе Кеск с умеренным разрешением.

В спектре видны линии металлов и водорода, а также молекулярные полосы. Практически все они находятся в излучении. Многие из этих линий смещены в синюю сторону на ≈ 175 км/с по сравнению со скоростью покоя родительской туманности, что позволяет авторам предположить наличие истечения вещества с поверхности V2492 Cyg. Обнаружение эмиссионных полос TiO и VO в спектрах молодых звезд в оптическом диапазоне зарегистрировано впервые и указывает на присутствие необычного количества плотного ($> 10^{10}/\text{cm}^{-3}$), теплого (1500 – 4000 K) околозвездного вещества.

Hillenbrand et al. (2013) исследовали поведение запрещённых линий некоторых атомов и пришли к выводу, как и Covey et al. (2011), что некоторые из них демонстрируют профили излучения с синим смещением и, вероятно, возникают в результате истечения, формируясь в исходящем потоке. Авторы предполагают, что наблюдаемое фотометрическое и спектроскопическое поведение можно объяснить присутствием вращающихся фрагментов околозвездного диска, расположенного на расстоянии $\approx 0.7(M_*/M_\odot)^{1/3}$ a.e.

Фрагмент спектра высокого разрешения представлен на рисунке 6. Линии H-альфа и H-бета представляют сложные профили с широкой эмиссионной компонентой, слегка сдвинутой в красную область, и размазанной P-Cygni абсорбцией, простирающейся до 200 км/сек.

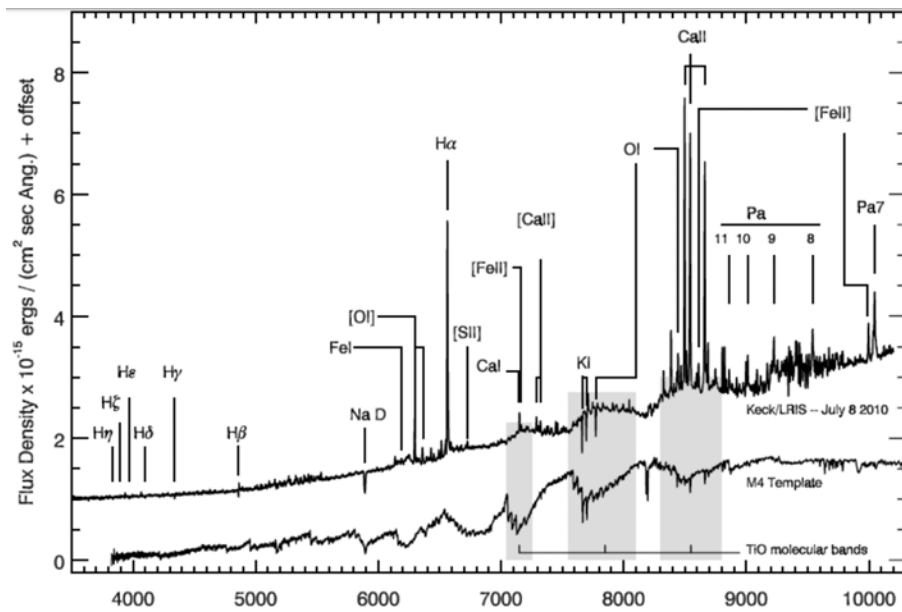


Рис. 5: Спектр V2492 Суг в оптическом диапазоне

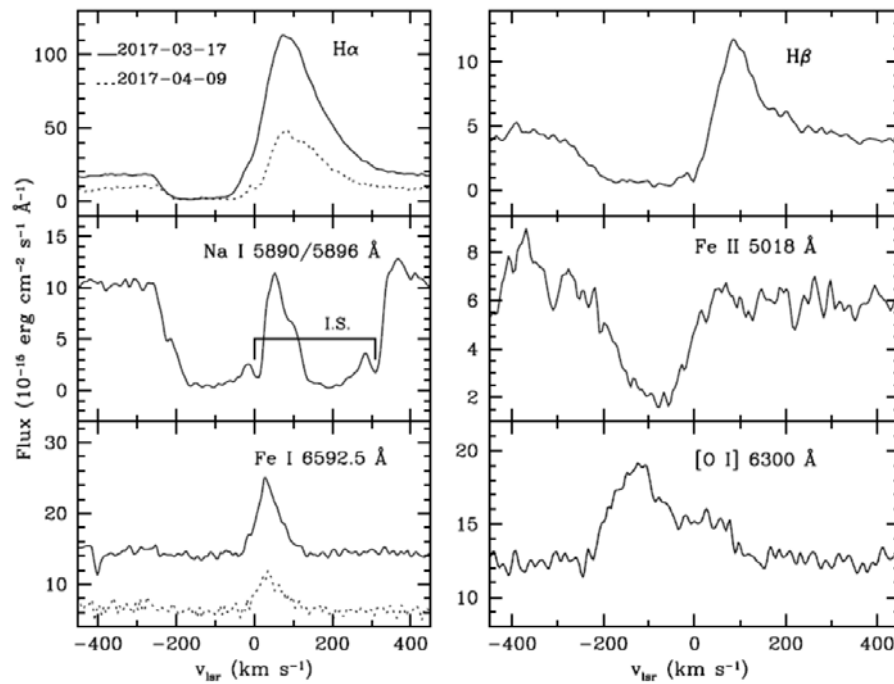


Рис. 6: Эшелле-спектры в области линий избранных линий

Авторы считают, что объект РТF10nvg нужно рассматривать как источник, демонстрирующий явления переменности высокой амплитуды, обусловленные как аккрецией, так и экстинкцией

Заключение

Молодая звезда V2492 Cyg, обнаруженная как переменная в августе 2010 г., за сравнительно короткий срок интенсивных наблюдений претерпела бурную эволюцию в процессе своей идентификации. На основании длительных рядов многоволновых фотометрических и спектральных наблюдений можно сделать следующие выводы:

- кривые блеска в оптическом и ближнем ИК диапазонах практически совпадают по форме, в них отсутствуют временные задержки и это говорит в пользу единого механизма, ответственного за переменность, а именно экстинкционного. Предполагается, что центральный источник эпизодически закрывается неосесимметричным, неоднородным и в тоже время достаточно плотным пылевым облаком во внутреннем диске.
- в то же время анализ спектральных наблюдений показал неоспоримые свидетельства в пользу истечения вещества, предположительно, ветра, с поверхности звезды или из диска.
- дополнение ко многим атомным особенностям излучения в спектре наблюдается сильное молекулярное излучение в полосах TiO и VO в оптическом диапазоне. Это первый случай, когда такое заметное молекулярное излучение было обнаружено от молодой звезды на оптических длинах волн.
- предполагается, что полосы излучения TiO указывают на наличие значительного количества плотного ($n > 10^{10} \text{ cm}^{-3}$), теплого вещества (1500 – 4000 K), предположительно, это околозвездный газ.
- значения экстинкции и темпа аккреции массы, выведенные из интенсивности наиболее ярких линий, в частности H_α и H_β , получились $A_V = 5 - 9$ вел и $M_{acc} \approx 2 \cdot 10^{-7} M_\odot / yr$ и оказались в оптимальном согласии с оценками ($A_V = 6 - 12$ вел и $M_{acc} \approx 2.5 \cdot 10^{-7} M_\odot / yr$), полученными (Covey et al., 2011). Следовательно, можно заключить, что увеличение яркости в 2010 и в 2016 гг. наступило при одном и том же уровне собственной светимости, но при различных уровнях экстинкции.
- наиболее вероятными причинами наблюдаемого уярчения в 2010 и 2016 являются сильное уменьшение экстинкции и одновременное значительное возрастание темпа аккреции массы.
- предполагается, что V2492 Cyg принадлежит к недавно определённому подклассу молодых эруптивных звезд, где зависящая от времени аккреция и переменная экстинкция на луче зрения играют комбинированную роль в изменениях потока.

Итак, вопрос принадлежности звезды V2492 к классу EXors / UXOrs остается открытым, хотя поведение V2492 можно интерпретировать как вызванное циклами усиленной дисковой аккреции, сопровождающимися уменьшением экстинкции. В планах дальнейшего исследования этой звезды предполагается получить одновременные фотометрические,

спектральные и поляризационные наблюдения в различных стадиях активности объекта, включая фазы глубоких минимумов. Для этого ГАО РАН планирует подать заявки для выделения времени на более крупных инструментах (ЗТШ-2.6 КрАО, БТА-6м, АЗТ-20 в Казахстане и др).

Благодарности

Автор выражает благодарность В.П.Гринину за полезные рекомендации при подготовке статьи, а также М.Ю.Ховричеву за прекрасно подготовленные методические материалы по оформлению статей.

Список литературы

- Covey Kevin R., Hillenbrand Lynne A., Miller Adam A., Poznanski Dovi, Cenko S. Bradley, Silverman Jeffrey M., Bloom Joshua S., Kasliwal Mansi M., Fischer William, Rayner John, Rebull Luisa M., Butler Nathaniel R., Filippenko Alexei V., Law Nicholas M., Ofek Eran O., Agüeros Marcel, Dekany Richard G., Rahmer Gustavo, Hale David, Smith Roger, Quimby Robert M., Nugent Peter, Jacobsen Janet, Zolkower Jeff, Velur Viswa, Walters Richard, Henning John, Bui Khanh, McKenna Dan, Kulkarni Shrinivas R., Klein Christopher. PTF10nvg: An Outbursting Class I Protostar in the Pelican/North American Nebula // AJ. II 2011. 141, 2. 40.
- Giannini T., Munari U., Antonucci S., Lorenzetti D., Arkharov A. A., Dallaporta S., Rossi A., Traven G. The 2016-2017 peak luminosity of the pre-main sequence variable V2492 Cygni // A&A. III 2018. 611. A54.
- Hillenbrand Lynne A., Miller Adam A., Covey Kevin R., Carpenter John M., Cenko S. Bradley, Silverman Jeffrey M., Muirhead Philip S., Fischer William J., Crepp Justin R., Bloom Joshua S., Filippenko Alexei V. Highly Variable Extinction and Accretion in the Jet-driving Class I-type Young Star PTF 10nvg (V2492 Cyg, IRAS 20496+4354) // AJ. III 2013. 145, 3. 59.
- Ibryamov Sunay, Semkov Evgeni. A new prolonged decrease event in the brightness of the young stellar object V2492 Cygni // Bulgarian Astronomical Journal. VII 2021. 35. 54.
- Ibryamov Sunay I., Semkov Evgeni H., Peneva Stoyanka P. V2492 Cygni: Optical BVRI Variability During the Period 2010-2017 // PASA. II 2018. 35. e007.
- Itagaki K., Yamaoka H. New Variable Star in Cygnus // Central Bureau Electronic Telegrams. VIII 2010. 2426. 1.
- Kóspál Á., Ábrahám P., Acosta-Pulido J. A., Arévalo Morales M. J., Balog Z., Carnerero M. I., Szegedi-Elek E., Farkas A., Henning Th., Kelemen J., Kovács T., Kun M., Marton G., Mészáros Sz., Moór A., Pál A., Sárnecky K., Szakáts R., Szalai N., Szing A., Tóth I., Turner N. J., Vida K. Exploring the circumstellar environment of the young eruptive star V2492 Cygni // A&A. III 2013. 551. A62.

Munari U., Valisa P., Dallaporta S., Itagaki K. New Variable Star in Cygnus // Central Bureau
Electronic Telegrams. VIII 2010. 2428. 1.

On the nature of photometric activity of the young star V2492 Cyg

A.A. Arkharov^{1,*}

¹The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo

* *e-mail*: arkadi@arharov.ru

Abstract

The article provides a brief overview of the work carried out over several years to study the photometric activity of the young star V2492 Cyg. After the discovery of the flare of this star in August 2010, intensive multi-wave photometric and spectral observations were carried out, on the basis of which contradictory results were obtained regarding the classification of the object and, as a consequence, the determination of the main mechanism responsible for the variability of radiation. The initial statement that this is uxor and its variability is due to extinction on the line of view contradicted the spectroscopy data, which indicated an obvious outflow of matter caused by accretion. Currently, it is believed that photometric activity is due to both the accretion of matter from the disk onto the star and variable extinction caused by various gas-dust structures on the line of view.