

УОТ 524.3

АМАИЛ АДИГЕЗАЛЗАДЕ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
КРИВОЙ БЛЕСКА RY TAU

Построенная кривая РЭС показала, что излучение звезды является комбинированным, и это излучение можно представить тепловым излучением тел с температурами 6000, 3000 и 90 К. Проведенный спектральный Фурье-анализ блеска позволил выявить вероятные периоды 14 лет и 6 лет. Построена синтетическая Фурье-кривая блеска, которая удовлетворительно согласуется со среднегодовой кривой блеска звезды.

Ключевые слова: *звезды, околозвездные диски, переменные, RY Tau.*

Введение. RY Tau является одной из классических звезд типа Т Тельца. После необычного увеличения блеска в V-полосе от 11^m до 9^m в 1983-1984 гг. [1], интерес к фотометрическим и спектральным исследованиям этой звезды значительно возрос. Из анализа фотографических данных 1900-1955 гг. были выявлены два типа переменности блеска: 1) переменность с характерным временем около 10 лет и амплитудой 2^m-3^m; 2) переменность с характерным временем около года с амплитудой до 1^m. Сводная кривая блеска, охватывающая интервал 1965-1985 гг., была проанализирована Хербстом [2], который нашел изменение блеска звезды с периодом более 20 лет. В дальнейшем поиски каких-либо периодических изменений блеска, как с кратковременным, так и с долговременным периодом, не увенчались успехом. Так, в наблюдениях Хербста и др. обнаружены фотометрические периоды 5.6 суток (с достоверностью всего 10%) и 66 суток. В последующей работе [3] показано, что из-за частых иррегулярных изменений блеска звезды существование этих периодов по фотоэлектрическим наблюдениям не подтверждается. К тому же, звезда имеет относительно большую скорость осевого вращения – $v \sin i = 50$ км/сек, поэтому период 66 суток не может быть реальным периодом осевого вращения.

Выполненный Зайцевой [4] детальный анализ кривой блеска звезды по данным 1965-1980 гг. показал, что наблюдается периодическая переменность блеска с периодом 5.84 г. и имеются также более длинные периоды. Показатели цвета меняются независимо от блеска, причем в отдельные сезоны при повышении блеска показатели цвета могут увеличиваться или уменьшаться. Там же показано, что зависимость степени поляризации от блеска носит немонотонный характер. Наибольшая поляризация наблюдается при минимальном и максимальном уровне блеска звезды.

В разных состояниях блеска показатели цвета звезды почти не меняются. Зависимость блеска от цвета подробно не изучена, хотя в отдельные моменты наблюдается некоторая аналогия со звездами UX Ori: при ослаблении блеска от V=9.^m5 до 10.^m0 цвет слегка краснеет, а в более слабом состоянии голубеет [4].

Спектральный класс звезды определен как K1e IV-V (Li) и K1 [5], а позже как G2 и

G0V [6]. Звезда имеет слабую степень вуалирования в видимой области спектра, а в фиолетовой части вуалирование не наблюдается [7]. Эквивалентная ширина линии $H\alpha$ около 20 Å, а линия $H\beta$ находится либо частично в эмиссии, либо в абсорбции [6]. Профиль линии $H\alpha$ показывает изменение со временем за сутки, имеется абсорбция в красном или фиолетовом крыле линии (см., например, [6]). По данным разных авторов, сведения об изменении потока в линии $H\alpha$ с изменением блеска противоречивы. По сравнению с другими звездами типа Т Тельца, у RY Тау наблюдается относительно высокая степень поляризации (1–2%). Переменность линейной поляризации была впервые установлена в [8]. Зависимость линейной поляризации от длины волны говорит о том, что поляризация возникает в околозвездной пылевой оболочке, далеко от излучающего газа. Как показано в [9], степень поляризации растет при ослаблении блеска.

По результатам фотометрических наблюдений 1985–1986 гг. было подтверждено существование периода 5.6 и 7.25 дней. Недавно, при поиске долговременных и кратковременных периодических изменений Зайцева [10] провела анализ 30-летней UVV- кривой блеска по данным, полученным за 1965–2000 гг. В этой работе было подтверждено существование 2000-дневного долговременного цикла, который был выявлен ранее по результатам фотографических наблюдений. В работе [10] подтверждается существование также периода 7.5 дней, но не выявляется период 5.6 дней, что автор объясняет изменением фазы периода.

Согласно данным в диапазоне 1.3 мкм у RY Тау наблюдается удвоенная структура в пылевой эмиссии, что свидетельствует о разрешении двух компонент внутри структуры 14 а.е. По мнению этих авторов, на расстоянии 15–50 а.е. от центральной звезды имеется планета с массой более 5 массы Юпитера.

В работе Исмаилова и др. [11] показано, что сводные кривые блеска некоторых звезд типа Т Тельца можно объяснить одновременным действием 2–3 наиболее вероятных периодов. Построенная на их основе синтетическая кривая блеска удовлетворительно согласуется с наблюдениями. В настоящей работе нами исследован 10-летний мониторинг УФ-спектра по эмиссии дублета MgII, а также выполнен анализ среднегодовой кривой блеска звезды.

Распределение энергии в спектре. Для построения кривой распределения энергии в спектре (РЭС) звезды нами использованы фотометрические данные, приведенные в работе [12]. Эти данные были собраны по наблюдениям разных авторов и по результатам внеатмосферных наблюдений в ИК-диапазоне спутником IRAS. Мы исправили звездные величины за межзвездное покраснение для диапазона 0.36–5 мкм. Величина покраснения становится меньше 1% после 5 мкм. Для перевода имеющихся звездных величин в средние абсолютные потоки в каждой отдельной фотометрической полосе использованы абсолютные потоки звезды со спектральным классом A0V. Зная наблюдаемые звездные величины в соответствующих фотометрических полосах, мы построили кривую распределение энергии звезды в абсолютных потоках.

После получения кривой РЭС в абсолютных потоках, она было нормирована относительно максимума интенсивности излучения. Полученные кривые РЭС были

сопоставлены со спектром излучения абсолютно черного тела (АЧТ); при наилучшем согласии кривых РЭС звезды и АЧТ определялись соответствующие данному излучению температуры. В работе Исмаилова и др. [11] подробно изложен данный метод построения РЭС для молодых звезд. В видимой части спектра метод позволяет определить эффективную температуру звезд с точностью 200 К, а в ближнем и дальнем ИК-диапазоне – около 100 и 50 К, соответственно.

На рис. 1 приведена полученная кривая РЭС звезды в интервале 0.36–100 мкм. На кривой РЭС уверенно выделяются пики при 0.44, 1.6–20, 25 мкм. Возможно, есть незначительный пик в 10–12 мкм. Там же приводятся кривые АЧТ, по максимуму совпадающие с первыми тремя пиками, которые соответствуют температурам 6000, 3000 и 90 К. Как видно из рис. 5, кривую РЭС звезды можно удовлетворительно описать как комбинарованное излучение, соответствующее, по меньшей мере, трем температурам теплового излучения. Первая кривая, соответствующая температуре 6000 К, по-видимому, относится к спектральному классу G1–2.

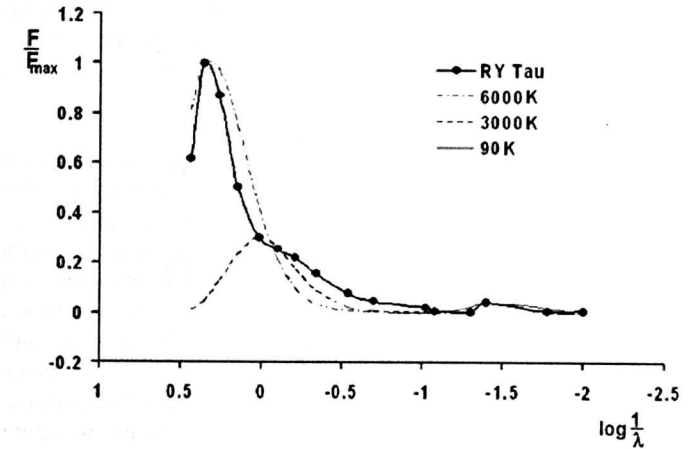


Рис. 1. Кривая РЭС RY Тау, построенная в интервале 0.36–100 мкм.

Природа источников с температурами 3000 К и 90 К остается невыясненной. Первая из этих температур определена по максимуму излучения, соответствующему длине волны около 1.6–2 мкм. Температура 90 К соответствует максимуму излучения при 25 мкм и, скорее всего, относится к излучению околозвездной пыли. Участок кривой при 10–12 мкм имеет плоский характер и это указывает на то, что излучающее пылевое облако является аморфным. Таким образом, анализ кривой РЭС показывает, что излучение звезды можно представить излучением не менее двух источников излучения. Напомним, что, звезда была заподозрена в двойственности по изменению лучевых скоростей [5].

Спектральный анализ кривой блеска. В предыдущей главе было показано, что,

скорее всего, RY Tau - это звездная система, состоящая, по крайней мере, из трех тел разной температуры. УФ-эмиссия в линии MgII $\lambda 2800 \text{ \AA}$ также свидетельствует о возможных циклических изменениях. Кривая РЭС подтверждает существование комбинированного излучения в системе RY Tau. Для проверки этих предположений мы использовали фотометрические данные звезды. Для спектрального анализа кривой блеска звезды мы собрали все фотозлектрические *UBV*-измерения, опубликованные в литературе и доступные в архивах. Всего было собрано около 1800 измерений в *V*, и немного меньше в других полосах, охватывающих период наблюдений 1965-2004 гг. Массивы данных обрабатывались методом спектрального анализа с помощью программы STATISTIKA-6.0. Это высокотехнологичная программа, основанная на COM-архитектуре, она обладает разными функциональными и пользовательскими возможностями.

Методом, подробно описанным в нашей работе [11], мы проанализировали кривую блеска звезды RY Tau. Фурье-кривые были построены как для отдельных колор-индексов *U-B* и *B-V*, так и для *V*-значений блеска. Для уменьшения вероятности получения ложных периодов, которые неизбежны в данном методе, фотометрические данные нами были усреднены по годам, поэтому формальная ошибка определения периода не меньше 1 года. Отбор получаемых фурье-кривых основывался на значении параметра P_k (в дальнейшем достоверность), который можно интерпретировать как дисперсию данных на k -ой частоте (спектр мощности), и который вычисляется по формуле:

$$P_k = (a_k^2 + b_k^2)N/2,$$

где a_k и b_k - коэффициенты при синусе и косинусе в фурье-разложении, соответственно, N - число наблюдательных точек. Соответственно, чем больше значение P_k , тем меньше различается фурье-кривая рассматриваемого периода и исходные данные.

Вычислялась фурье-кривая для наиболее достоверного периода и ее соответствующие значения вычитались из данных исходного массива. Полученная разностная кривая вновь подвергалась спектральному анализу. Описанный метод помогает выявлять случаи, когда в исходном массиве мы имеем несколько периодических составляющих одного и того же периода, но сдвинутые по фазе. Параллельно, для контроля за достоверностью получаемых периодических составляющих, мы каждый раз вычисляли коэффициенты корреляции между получаемыми разностными кривыми и соответствующими кривыми Фурье. Значения коэффициентов корреляции при этом монотонно уменьшаются с каждым очередным вычитанием. Значения коэффициентов корреляции вычислялись нами как параметрическими методами (критерий Пирсона), так и непараметрическими (критерий Кенделла и Спирмена).

По разным массивам данных мы получили три наиболее достоверных периода - 22 года, 14 лет и 6 лет. Рассматриваемый общий интервал наблюдений 1962-2004 гг. является коротким для уверенного выделения 22 летнего многолетнего периода. Поэтому, при построении синтетической кривой блеска этот период не учитывался. На рис.6 по среднегодовым данным для *V*-значений мы приводим построенную наблюдательную кривую блеска для RY Tau (значения JD здесь отнесены к середине интервалов усреднения) и суммарную кривую Фурье для периодов 14 и 6 лет. Как видно из рис. 6, а также из

вычисленных значений коэффициентов корреляции (Пирсон - 0,4445, Кенделл - 0,3234 и Спирман - 0,4916 при уровне значимости <0.01) можно сделать вывод о наличии существенной сходимости. Т.е. сделанное нами предположение о трехкомпонентной природе RY Tau в первом приближении хорошо описывает наблюдаемую кривую блеска.

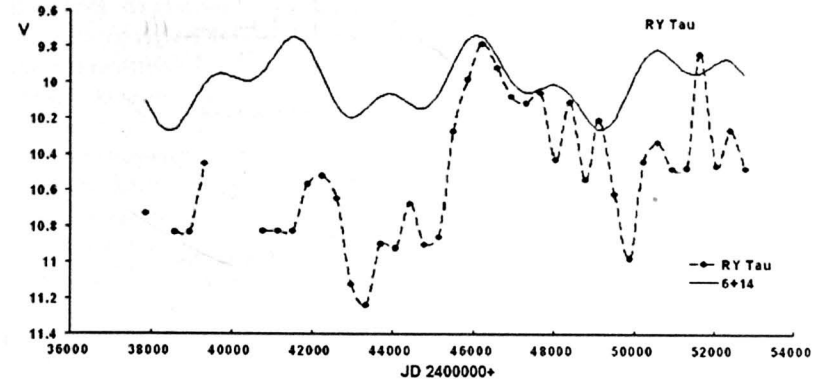


Рис. 2. Наблюдаемая кривая блеска звезды RY Tau (сплошная кривая) и суммарная кривая Фурье (пунктир) для периодов 14+6 лет.

На рис. 3 приведены гистограммы распределения наблюдаемых значений звездной величины. По оси ординат приведено отношение количества измерений в данном интервале блеска N_i к общему количеству измерений в данном фильтре N . По оси абсцисс приводится номер интервала (с шагом $0^m.1$). Начало шкалы соответствует максимально яркому блеску в каждом фильтре. Общий интервал изменений блеска в каждой цветовой полосе указан на панелях. 1 или 2 значения блеска в отдельных полосах, выпадающие из указанного интервала переменности, имеют маленький относительный процент, и не могут отражаться в этих диаграммах, поэтому полный интервал переменности в каждом фильтре шире, чем значения, приведенные на этом рисунке. Из диаграмм, приведенных на рис.7, видно, что блеск звезды является совершенно неустойчивым в любой из рассмотренных цветовых полос, и относительное количество одинаковых состояний блеска не превышает даже 10%. Кроме того, каждое из распределений блеска имеет асимметричный вид. Это особенно заметно в полосах *B* и *V*, в которых наблюдается по два максимума, то есть два несколько более устойчивых состояния блеска. Таким образом, процесс изменения блеска не представляет собой статистически случайное нормальное распределение, а является следствием некоторых закономерных, возможно периодических внешних факторов.

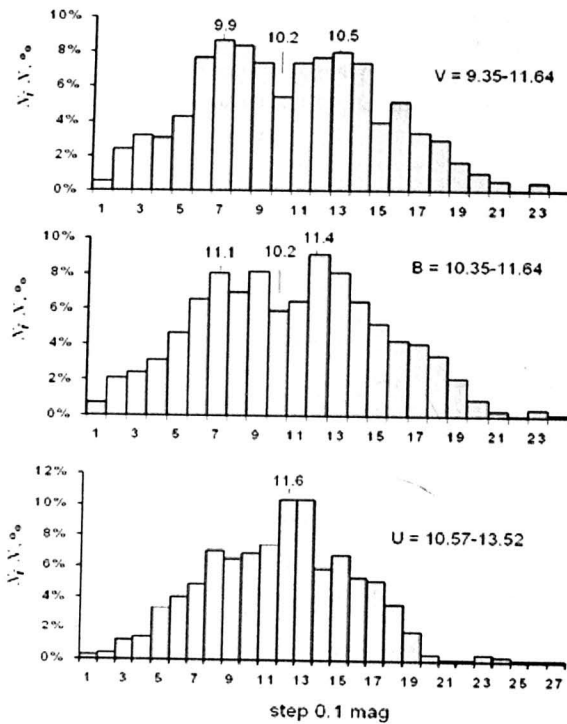


Рис. 3. Диаграммы распределения блеска в полосах *UBVI*. На каждой диаграмме начальная точка 1 на оси абсцисс соответствует наиболее яркому состоянию блеска, а последующие номера увеличиваются с шагом 0.1^m.

Заключение. Сравнение кривой РЭС, полученной нами, с аналогичной кривой, полученной в [13] показало, что эти кривые достаточно хорошо согласуются между собой. Нами показано, что кривую РЭС звезды можно представить комбинированным тепловым излучением трех источников с температурами 6000, 3000 и 90 К. Такой результат не противоречит гипотезе о многокомпонентной природе системы RY Tau. Построенная кривая РЭС звезды RY Tau показала, что главный источник имеет температуру около 6000 К. Мы склонны считать, что это соответствует температуре главной звезды системы спектрального класса G1–G2, что неплохо согласуется с данными других авторов. Вторая температура, соответствующая 3000 К, обнаруженная по избытку излучения с максимумом при длине волны 1 мкм, свидетельствует о том, что в системе имеется дополнительный источник излучения. Температуру 90 К может иметь пылевая составляющая околозвездной материи. Аргументы в пользу существования вклада пылевой составляющей в РЭС RY Tau приведены также в работе [14].

С помощью спектрального анализа были обнаружены наиболее вероятные периоды 22, 14 и 6 лет. Первая из этих периодов хорошо согласуется с данными Хербста [2], а последняя, данными [10]. У звезд типа Т Тельца явления с периодами, превышающими период осевого вращения, можно объяснить наличием дополнительных компонентов в околозвездном пространстве [15]. Анализ среднегодовой кривой блеска показал, что кривую блеска звезды можно в первом приближении интерпретировать в трехкомпонентной модели с периодами 14 и 6 лет. Это является косвенным фактом, в пользу гипотезы о многокомпонентной природе звезды. Наш анализ дает аргументы в пользу того, что существуют, по меньшей мере, несколько несформировавшихся тел около центральной звезды.

Согласно нашему анализу кривой РЭС, одна из компонент имеет температуру около 3000 К, что соответствует спектральному классу М. По данным период 2000 дней стабилен и наблюдается как по фотографическим, так и по фотоэлектрическим наблюдениям. Используя масс первичного компонента (для G-звезды) равной $1.6 M_{\odot}$ и вторичного компонента с $0.5 M_{\odot}$ (для M-звезды) можно оценить расстояние между компонентами при периоде около 6 лет в гипотетической двойной системе. При таких параметрах для большой полуоси орбиты получим $a = 4.2$ а.е. Если учитывать массу и других околозвездных тел, то это расстояние изменится незначительно. Согласно данным, по полученным изображениям RY Tau в диапазоне 1.3 мм и 2.8 мм показано, что в околозвездном окружении, на расстоянии 10-50 а.е. должны быть планеты типа более 5 массы Юпитера. Наши вычисления показали, что для подтверждения этих результатов в будущем нужно получить изображения околозвездного окружения с более высоким пространственным разрешением.

Интересно, что в момент вспышки в 1983 г. фазы максимумов 14 и 6-летних Фурье кривых совпадают, т.е. в этот момент оба компонента выстраиваются по одну сторону от центральной звезды и гравитационные силы обоих компонентов могут создать значительное возмущение в околозвездном пространстве. В этом случае достаточно разумно предположить, что происходит отрыв некоторой массы вещества от верхних, холодных слоев атмосферы звезды RY Tau. В результате центральная звезда частично раскрывается и светимость системы возрастает. В сгустке вещества, оторвавшегося от звезды, возникают благоприятные условия для процесса фрагментации и возникновения больших фрагментов прототел, которые время от времени беспорядочно затмевают звезду. Все вышеперечисленные явления не противоречат фотометрическим наблюдениям, а также современным теоретическим моделям образования планетных систем.

Анализ показывает, что диаграммы распределения блеска показали асимметричный вид с двумя вершинами. Эти относительно устойчивые состояния блеска могут быть результатом динамических процессов в системе, что является дополнительным аргументом в пользу кратности системы.

Таким образом, в работе можно сделать следующие выводы:

1. Блеск звезды является совершенно неустойчивым в любой из полос системы *UBVI*, и относительное количество одинаковых состояний не превышает даже 10%. Кроме того, каждая из диаграмм распределения блеска имеет асимметричный вид, что может быть

результатом неслучайных динамических процессов.

2. По РЭС определена температура главной звезды системы, равная 6000 К, что соответствует спектральному классу G1–G2. Температура 90 К, по-видимому, соответствует излучению пылевой составляющей околозвездной материи. Еще одна температура, 3000 К, обнаруженная по избытку излучения в спектре, является косвенным аргументом в пользу наличия в системе дополнительного источника излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Herbst W., Stine P.C. // Astron. J., 89, 1716 (1984).
2. Herbst W. // Publ. Astron. Soc. Pacif., 98, 1088, 1986.
3. Herbst W., Koret D.L. // Astron. J., 96, 1949, 1988.
4. Зайцева Г.В. // Астрофизика, 25, 471, 1986.
5. Herbig G.H. // Astrophys. J., 214, 747, 1977.
6. Исмаилов З.А., Рустамов Б.Н. // Письма в АЖ, 13, 51, 1987.
7. Valenti J.A., Basri G., Johns C.M. // Astron. J., 106, 2024, 1993.
8. Варданян Р.А. // Сообщения Бюрак. Обс., 35, 3, 1964.
9. Ефимов Ю.С. // Переменные Звезды, 21, 273, 1980.
10. Зайцева Г.В. // Астрофизика, 53, №2, 212, 2010.
11. Исмаилов Н.З., Шустарев П.Н., Алиева А.А., Алимарданова Ф.Н. // Астрон. Журн., 86, 694, 2009.
12. Kenyon S.J., Hartmann L. // Astrophys. J. Suppl. Ser., 101, 117, 1995.
13. Holtzmann J.A., Herbst W., Booth J. // Astron. J., 92, 1387, 1986.
14. Vrba F.J., Chugainov P.F., Weaver W.B., Stauffer J.S. // Astron. J., 106, 1608, 1993.
15. E. Furlan, L. Hartmann, N. Calvet, et al. // Astrophys. J. Suppl. Ser., 165, 568, 2006.

Шемахинская Астрофизическая Обсерватория
E-mail: hadigozalzade@gmail.com

Həmayil Adıgözəlzadə

RY-TAU ULDUZUNUN SPEKTR VƏ PARLAQLIĞININ TƏDQIQI

Qurulmuş spektral enerji paylanması əyrisini temperaturları 6000, 3000 və 90 K olan cisimlərin istilik şüalanması kimi təsvir etmək mümkündür. Parlaqlığın aparılmış Furiye analizi 14 və 6 illik periodların mövcud olmasını ehtimal etməyə imkan vermişdir. Qurulmuş sintetik işıq əyrisi illik orta işıq əyrisi ilə qənaətedici uyğunluq təşkil edir.

Açar sözlər: ulduzlar, ulduzətrafi mühit, dəyişkənlik, RY Tau.

Həmayil Adıgözəlzadə

BRIGHTNESS AND UV SPEKTRUM VARIABILITY OF RY TAU

Carried out SED curve showed that the radiation of the star is a combination, and this radiation can be represented by thermal radiation of bodies with temperatures of 6000, 3000, and 90 K. The above spectral Fourier analysis of light curve revealed the probable periods of 14 and 6 years. Obtained the synthetic Fourier light curve is agrees well with the average light curve of the star.

Keywords: stars, circumstellar matter, variability, RY Tau.

(*Статья представлена член-корреспондентом НАНА Намигом Джалиловым*)

Daxilolma tarixi:

İlkin variant 14.10.2019

Son variant 17.12.2019