

УДК 524.338.5:520.84

А.Н.Адыгезалзаде

Шамахинская астрофизическая обсерватория им.Н.Туси

НАН Азербайджана

hadigozalzade@gmail.com

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ RY TAU ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА

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

В работе приведены результаты анализа сводной кривой блеска одной из классических звезд типа Т Тельца RY Tau. Построенная кривая *PЭС* 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. Построенная синтетическая Фурье-кривая блеска удовлетворительно согласуется со среднегодовой кривой блеска звезды.

Н.Н.Адыгözəlzadə

T BUĞA TIPLİ RY TAU ULDUZUNUN SPEKTRİNDƏ ENERJİ PAYLANMASI

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

İşdə klassik T Buğa tipli ulduzlardan biri olan RY Tau ulduzunun ümumi işıq ayrısının təhlilinin nəticələri verilir. Qurulmuş spektral enerji paylanması ayrısını 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 ayrısı illik orta işıq ayrısı ilə qənaətedici uyğunluq təşkil edir.

Н.Н.Адыгəzalzadə

DISTRIBUTION OF ENERGY SPECTRUM OF RY TAU TYPE T TAURI STARS

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

In this work the results of the total light curve of the classic T Tauri type star RY Tau had been presented. Constructed SED curve showed that the radiation of the star is a composite, and this radiation can be represented by thermal radiation of bodies with temperatures of 6000, 3000, and 90 K. Carried out spectral Fourier analysis of

light revealed the probable periods of 14 years and 6 years. Obtained synthetic light curve is in satisfactory agreement with the average light curve of the star.

Введение

К звездам типа Т Тельца (ТТS) относятся молодые (возраст от 1 до 10 млн лет) звезды с массой менее $\sim 2 M_{\odot}$, находящиеся в стадии эволюции до главной последовательности (ГП). Располагаются в газопылевых структурах нашей галактики – в областях звездообразования. По наблюдаемым признакам это неправильные переменные спектральных классов G-K-M с характерным эмиссионным спектром низкого возбуждения. Многие ТТS окружены околосветными аккреционными дисками – т.н. ”классические” ТТS (СТТS). Они отличаются избыточным излучением в коротковолновой и инфракрасной областях спектра с признаками интенсивной потери массы в виде звездного ветра и/или джетов. По современным представлениям звезды образуются в результате гравитационного коллапса фрагментов холодных (~ 10 К) плотных (~ 100 атомов водорода) ядер молекулярных облаков размером около 2 пк.

Поскольку родительское облако имеет ненулевой угловой момент, в результате гравитационного коллапса образуется протозвезда с газопылевым аккреционным диском. Со временем приток вещества ослабевает и звезда становится видимой не только в ИК, но и в оптическом диапазоне спектра.

Взаимодействие диска с центральным объектом приводит к перераспределению углового момента вращения от центра к периферии диска, что способствует образованию звезды. Возраст молодых звезд на стадии эволюции до главной последовательности отсчитывается от момента коллапса. Звезда с массой $\sim 1 M_{\odot}$ эволюционирует к ГП в течение $\sim 10^8$ лет. Характерное время существования активной (аккреционной) фазы диска составляет десятки миллионов лет.

RY Tau также 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, 2], 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 [3]. Сводная кривая блеска, охватывающая интервал 1965–1985 гг., была проанализирована Хербстом [4], 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. [5] обнаружены фотометрические периоды 5.6 суток (с достоверностью всего 10%) и 66 суток. В последующей работе [6] 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 [7, 8], поэтому период 66 суток не может быть реальным периодом осевого вращения.

Выполненный Зайцевой [9] 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 [9–11].

Спектральный класс звезды определен как K1e IV–V (Li) [12] и K1 [13], а позже как G2 [14] и G0V [15]. Звезда имеет слабую степень вуалирования в видимой области спектра [16], а в фиолетовой части вуалирование не наблюдается [17]. Эквивалентная ширина линии $H\alpha$ около 20 \AA , а линия $H\beta$ находится либо частично в эмиссии, либо в абсорбции [15]. Профиль линии $H\alpha$ показывает изменение со временем за сутки, имеется абсорбция в красном или фиолетовом крыле линии (см., например, [2, 15, 18]). 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 [19] и подтверждена в работе [20]. Зависимость линейной поляризации от длины волны говорит о том, что поляризация возникает в околосредней пылевой оболочке, далеко от излучающего газа. Как показано в [21], степень поляризации растет при ослаблении блеска.

По данным [22], распределение энергии в спектре (РЭС) RY Тау имеет плоскую форму в ИК-диапазоне. Имеется также сильный избыток в миллиметровом континууме [23].

Петров и др. [24] приводят результаты комплексных наблюдений звезды при увеличении ее блеска в 1996 г. Авторы показали, что основной причиной переменности RY Tau может быть затмение звезды околозвездными газово-пылевыми облаками. Первые исследования УФ-спектра показали присутствие слабой эмиссии в линиях FeII [25]. В работе [26] показано, что при ослаблении блеска в V-полосе от $9.^m9$ до $10.^m8$ структура линии MgII $\lambda 2800$ Å переходит от абсорбции к эмиссии. На основании анализа УФ- спектра звезды Ламзин [27] показал, что эмиссионные линии RY Tau не могут образовываться в гидростатически равновесной хромосфере, а причиной их образования является аккреция из околозвездного вещества.

По результатам фотометрических наблюдений 1985-1986 гг. в [28] было подтверждено существование периода 5.6 и 7.25 дней. Недавно, при поиске долговременных и кратковременных периодических изменений Зайцева [29] провела анализ 30-летней UVB- 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 [30]. В работе [29] подтверждается существование также периода 7.5 дней, но не выявляется период 5.6 дней, что автор объясняет изменением фазы периода.

Согласно данным [31] в диапазоне 1.3 мм у RY Tau 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. [32] 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 [33]. Эти данные были собраны по наблюдениям разных авторов и по результатам внеатмосферных наблюдений в ИК-диапазоне спутником IRAS. Следуя [34], мы исправили звездные величины за межзвездное покраснение для диапазона 0.36–5 мкм. Величина покраснения становится

меньше 1% после 5 мкм. Были использованы средние кривые межзвездного покраснения по формулам перехода, приведенным в [35]. Для перевода имеющихся звездных величин в средние абсолютные потоки в каждой отдельной фотометрической полосе использованы абсолютные потоки звезды со спектральным классом A0V [36]. 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. [32] 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.

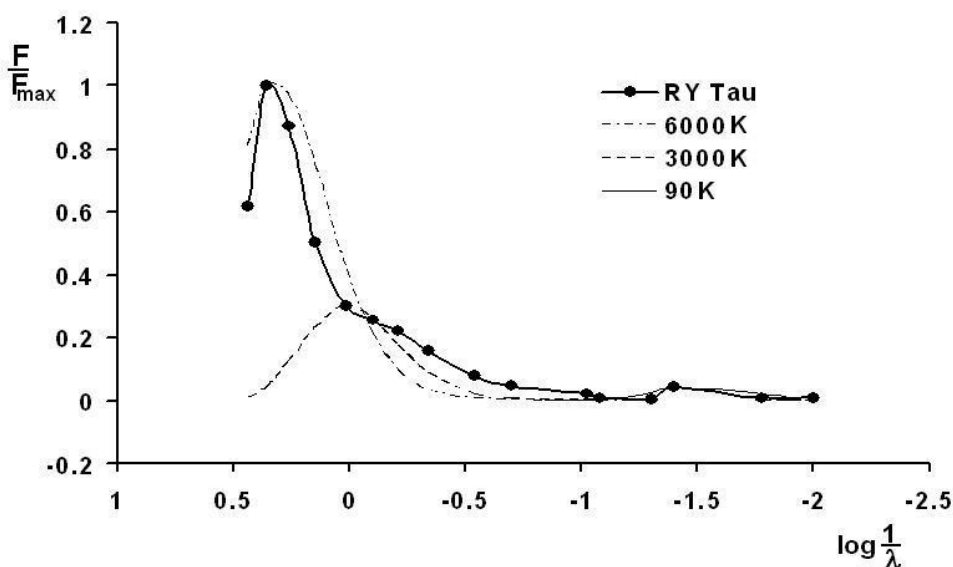


Рис.1. Кривая РЭС RY Tau, построенная в интервале 0.36-100 мкм.

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.1, кривую РЭС звезды можно удовлетворительно описать как

комбинированное излучение, соответствующее, по меньшей мере, трем температурам теплового излучения. Первая кривая, соответствующая температуре 6000 К, по-видимому, относится к спектральному классу G1-2.

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, по мнению авторов [31], 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 [12].

Заключение

Сравнение кривой РЭС, полученной нами, с аналогичной кривой, полученной в [37] 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 [38].

Согласно нашему анализу кривой РЭС, одна из компонент имеет температуру около 3000 К, что соответствует спектральному классу M. По данным [30] период 2000 дней стабилен и наблюдается как по фотографическим, так и по фотоэлектрическим наблюдениям. Используя масс первичного компонента (для G-звезды) равной $1.6 M_{\odot}$ (см., например, [39]) 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 [31], 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Herbst W., Stine P.C.*, Astron. J., 89, 1716 (1984)
2. *Зайцева Г.В., Колотилов Е.А., Петров П.П., Тарасов А.Е., Шенаврин В.И., Щербачев А.Г.*, Письма в АЖ, 11, 271 (1985)
3. *Beck T.L., Simon M.*, Astron. J, 122, 413 (2001)
4. *Herbst W.* Publ. Astron. Soc.Pacif., 98, 1088 (1986)
5. *Herbst W., Booth C.F., Koret D.L. et al.*, Astron. J., 94, 137 (1987)
6. *Herbst W., Koret D.L.*, Astron. J., 96, 1949 (1988)
7. *Hartmann L.W., Stauffer J.R.*, Astron. J., 97, 873 (1989)
8. *Bouvier J.*, Astron. J, 99, 946 (1990)
9. *Зайцева Г.В.* Астрофизика, 25, 471 (1986)
10. *Gahm G.F., Gullbring E., Fischerstrom C. et al.*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 100, 371 (1993)
11. *Eaton N.L., Herbst W.* Astron. J., 110, 2369 (1995)
12. *Herbig G.H.*, Astrophys. J., 214, 747 (1977)
13. *Cohen M., Kuhl L.V.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 41, 743 (1979)
14. *Cabrit S., Edwards S., Strom S.E., Strom K.M.* Astrophys. J., 354, 687 (1990)
15. *Исмаилов З.А., Рустамов Б.Н.* Письма в АЖ, 13, 51 (1987)
16. *Hartigan P., Edwards S., Ghandour L.* Astrophys. J., 452, 736 (1995)
17. *Valenti J.A., Basri G., Johns C.M.*, Astron. J., 106, 2024 (1993)
18. *Johns C.M., Basri G.* Astron. J., 109, 2800 (1995)
19. *Варданян Р.А.* Сообщения Бюрак. Обс., 35, 3 (1964). *K. Serkowski*, Astrophys. J., 156, 55 (1969).
20. *Ефимов Ю.С.* Переменные Звезды, 21, 273 (1980)
21. *Bertout C., Basri G., Bouvier J.*, Astrophys. J., 330, 350 (1988)
22. *Beckwith S.V.W., Sargent A.L., Chini R.S., Gusten R.* Astron.J., 99, 924 (1990)
23. *Petrov P.P., Zajtseva G.V., Efimov Yu.S. et al.*, Astron. Astrophys., 341, 553 (1999)
24. *Herbig G.H., Goodrich R.W.* Astrophys.J., 309, 294 (1986)
25. *Eaton N.L., Herbst W.* Astron J., 110, 2369 (1995)
26. *Ламзин С.А.* Письма в АЖ, 26, 683 (2000)
27. *Chugainov P.F., Zajtseva G.V., Lovkaya M.N.* Izvestia KrAO, 83, 139 (1991)
28. *Зайцева Г.В.* Астрофизика, 53, №2, 212, (2010)
29. *Зайцева Г.В., Курочкин Т.Е.* Астрон. циркуляр, № 1126, 3 (1980)

30. *Isella A., Carpenter J.M., Sargent A.I.* *Astrophys. J.*, 714, 1746 (2010)
31. *Исмаилов Н.З., Шустарев П.Н., Алиева А.А., Алимарданова Ф.Н.*, *Астрон. журн.*, 86, 694 (2009)
32. *Kenyon S.J., Hartmann L.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 101, 117 (1995)
33. *Rostopchina A.N., Grinin V.P., Okazaki A. et al.*, *Astron. Astrophys.*, 327, 145 (1997)
34. *Rieke G.H., Lebofsky M.J.*, *Astrophys.J.*, 288, 618 (1985)
35. *Страйжис В.Л.* Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс, Москлас, 105 (1977)
36. *Furlan E., Hartmann L., Calvet N., et al.*, *Astrophys.J. Suppl.Ser.* 165, 568 (2006)
37. *Scheegerer A. A., Wolf S., Ratzka Th., Leinert Ch.*, *Astron. Astrophys.*, 478, 779 (2008).
38. *Ardila D.R., Bari G., Walter F.M., Valenti J.A., Johns-Krull C.M.* *Astrophys.J.* 566, 1100 (2002)