РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТИ 0.36 – 100 мкм

Н. З. Исмаилов [1,2], **Ф. Н. Алимарданова** [2]

[1] *Бакинский государственный университет*
З. Халилова, 23, AZ1148, Баку, Азербайджан

[2] *Шамахинская астрофизическая обсерватория НАН Азербайджана*
г. Шамаха, пос. Ю. Мамедалиева
e-mail: box1955n@yahoo.com

Используя широкополосные наземные и внеатмосферные ИК фотометрические наблюдения, изучено распределение энергии в спектре (РЭС) у 87 молодых звезд в интервале 0.36–100 мкм. Изученные объекты показали всего пять типов кривых РЭС. Была расширена ранее предложенная схема классификации РЭС у молодых звезд по их ИК-спектрам. Новая схема классификации РЭС позволяет объяснить эволюционную схему вещества в околозвездном диске у молодых звезд. У отдельных звезд наблюдается до четырех участков с избыточным излучением в спектре, что может быть объяснено существованием в системе дополнительных источников теплового излучения. Наиболее вероятные температуры дополнительных источников в системе соответствуют ~ 1500–2500 К и 90–120 К.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени не существует однозначной интерпретации происхождения избытков излучения в РЭС у разных групп молодых звезд [1, 2]. Несколько лет тому назад Лада и коллеги [3–5] распространили простую схему классификации РЭС для молодых звезд. По их предположению, класс I – объекты с РЭС, сходные с РЭС чернотельного излучения с температурой 50–100 К, максимум которой находится на длине волны 30–100 мкм. Типичные звезды типа Т Тельца из облаков Тельца–Возничего, видимые в оптическом диапазоне, имеют РЭС поздних спектральных классов [6]. Лада и коллеги [3] делили их на II и III типы на основе их РЭС в далекой ИК-части спектра. Класс II имеет избытки излучения в спектре, в то время как класс III имеет малые или вовсе не имеет избытки в далеком ИК-спектре. Большинство звезд II класса – классические звезды типа Т Тельца (CTTS), которые имеют сильную H_{α}-эмиссию, а также УФ-избыток в РЭС.

Предполагается, что в течение эволюции сильное в далекой ИК-части излучение оболочки переходит в излучение околозвездного диска, затем вещество в виде аккреции частично падает на звезду, часть вещества диссипирует или конденсируется на твердые тела около центральной звезды [4, 6]. РЭС объектов I класса согласуется в модели оболочки с падением вещества $(1–4) \cdot 10^{-6} M_{\odot}$/год [4, 6, 7].

РЭС объектов II класса хорошо согласуется в модели диска, но тут не ясно, переизлучает ли диск звездное излучение, или сам излучает за счет вязкой диссипации, или в излучении участвует комбинация этих процессов [7, 8].

Целью настоящей работы является анализ кривых РЭС группы молодых звезд в диапазоне 0.36–100 мкм, для которых более полноценно известны фотометрические звездные величины в оптической и ИК-части спектра. Это позволило бы для достаточно большой выборки молодых звезд более детально построить кривые РЭС и провести их анализ. Мы считаем, что особенности РЭС у разных молодых звезд можно объяснить не только излучением околозвездного диска, но и тепловым излучением компактных ИК-источников, находящихся в околозвездном окружении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средние значения блеска всех исследуемых звезд, попадающих в интервал от 0.36 до 100 мкм, были взяты из списка [9], в котором были накоплены данные разных авторов, полученные за многие годы. Там же приведены ИК-результаты наблюдений IRAS. Нами были отобраны такие звезды, для которых имеются измерения по всем вышеуказанным полосам. Около 90% объектов нашей выборки удалось составить из таких звезд. Список ограничивался тем, что для некоторых звезд нет доступных фотометрических измерений, полученных одновременно по всем полосам. Кроме того, в список включены объекты, наблюдаемые только в ИК-части спектра. Для сравнения были использованы средние цветовые показатели стандартных звезд-карликов, взятые из работ [10, 11]. Звездные величины были исправлены за межзвездное покраснение для диапазона 0.36–5 мкм. Величина покраснения становится меньше 1%

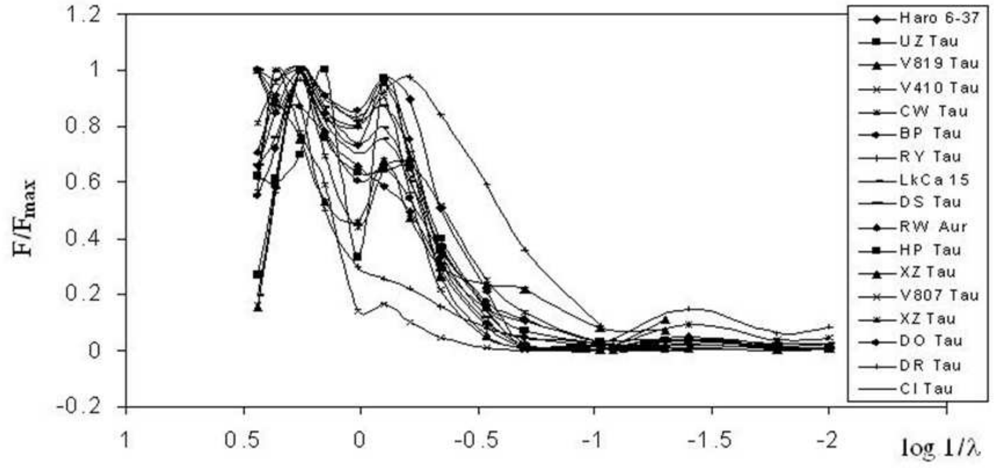

Рис. 1. Кривые РЭС объектов IV типа

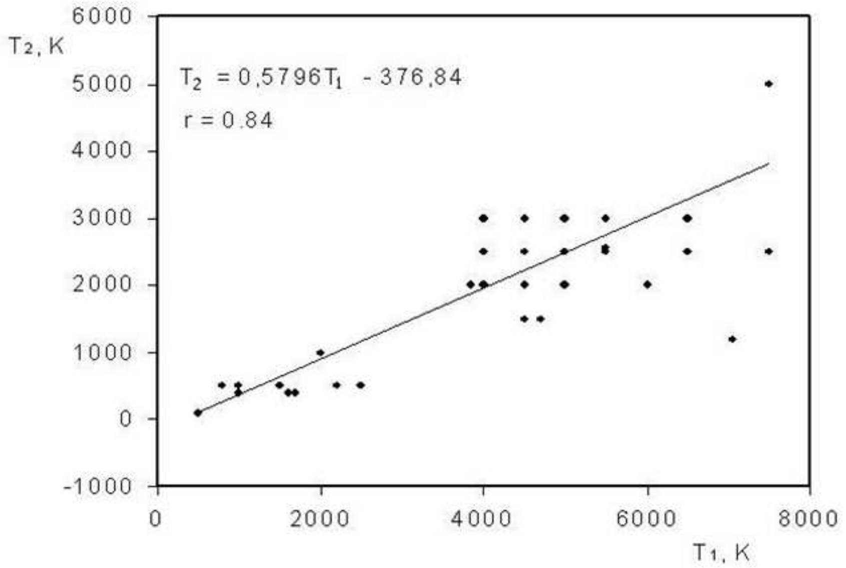

Рис. 2. Зависимость температур T_1 и T_2. Так как значения этих температур часто одинаковы для разных звезд, многие точки совпадают

при длинах волн больше 5 мкм. Нами были использованы средние кривые межзвездного покраснения по формулам перехода, которые приведены в [12].

Полученные кривые РЭС у разных звезд, имеющих подобные РЭС, сортированы по разным группам. Каждый из участков с избытками излучения (“горбов”) по РЭС у этих звезд нами был сопоставлен с РЭС абсолютно черного тела и определены температуры излучения, согласующиеся с избыточным распределением энергии. Ошибка в определении температур по этому методу составляет от 250 К в полосе 0.36 мкм до 50 К в полосах 50–100 мкм. Всего было обнаружено пять типов кривых РЭС у исследуемых звезд.

На рис. 1 для примера приведены кривые РЭС для наиболее многочисленной IV группы молодых звезд. Температуры получены при сопоставлении избыточного излучения в “горбах” с излучением абсолютно черного тела. Полученные температуры мы обозначили через T_1, T_2 и T_3 по возрастанию длины волны по спектру.

Нами показано, что полученные значения температур по кривым имеют определенную взаимосвязь. На рис. 2 приведена зависимость между температурами T_1 и T_2 для разных объектов.

Коэффициент корреляции между значениями этих температур оказывается достаточно высоким – $r = 84\%$. Мы построили кривые РЭС у 87 молодых объектов, 16 из которых являются ИК-объектами, не наблюдаемыми в оптическом диапазоне. По формам полученных кривых РЭС выбранные нами объекты разделены на следующие пять подгрупп:

1. Объекты с кривыми РЭС, имеющие несколько широких максимумов в ближней и дальней ИК-части спектра. Подобные спектры показывают в основном ИК-источники. Таких объектов в нашей выборке оказалось всего 9.

2. Объекты с одним очень широким максимумом в РЭС. Максимум в РЭС в таких объектах изредка может находиться в оптическом диапазоне, но часто находится в ближней ИК-части спектра при 1.25–1.62 мкм. В нашей выборке – всего 14 таких объектов.
3. В III группу мы отнесли объекты, имеющие не меньше 2 максимумов в кривых РЭС, причем второй максимум по интенсивности превосходит первый. Подавляющая часть таких объектов имеет кривые РЭС с наиболее сильным максимумом при 0.25 мкм. Температура излучения этого пика соответствует $T \approx 2500$ K.
4. К объектам IV группы относятся объекты, у которых единственное отличие от предыдущей группы то, что здесь первый пик, наблюдаемый в РЭС, является более сильным, чем второй. Максимумы так же, как в предыдущей группе, получены при 0.56 мкм и при 0.25 мкм и соответствуют температурам 5000 K и 2500 K.
5. К V группе были отнесены объекты с гладкими кривыми РЭС. У таких звезд наблюдается лишь один максимум в оптическом диапазоне и единственная температура по РЭС – $T_1 \approx 5000$ K. Предлагаемая в настоящей работе новая схема классификации кривых РЭС для молодых объектов по сути не отличается от схемы классификации [3–5], а лишь вводит дополнительные классы, более детально учитывающие особенности РЭС некоторых типов объектов.

Обобщая результаты, можно сделать следующие выводы:

1. По анализу кривых РЭС 87 молодых звезд обнаружено всего пять типов кривых РЭС. Выделенные нами типы расширяют схему классификации кривых РЭС у молодых звезд и могут описать эволюционную картину околозвездного первичного вещества в течение времени выхода объекта на главную последовательность.
2. Обнаружена значительная корреляция между полученными температурами теплового излучения околозвездного вещества, определенная по избыточному излучению на кривых РЭС в разных участках спектра.
3. Сравнение показало, что большинство типичных молодых звезд позднего типа по кривой РЭС показывают систематически завышенную температуру (T_1), примерно на 1000 K большую, чем эффективные температуры звезд ($T_{\text{эф}}$). Определенные температуры тепловых источников имеют характерные значения – чаще всего 1500–2500 K и 90–150 K. Это может быть характерной особенностью околозвездных оболочек у молодых звезд: при конденсации оболочки могут, в основном, образоваться объекты только определенной массы и температуры.

[1] *Hartigan P., Hartmann L., Kenyon S. J., et al.* Correlations of optical and infrared excesses in T Tauri stars // Astrophys. J. – 1990. – **354**, N 2. – P. L25–L28.

[2] *Исмаилов Н. З., Алиева А. А.* Анализ избытков ближних УФ и ИК излучений у звезд типа Т Тельца // Известия НАН Азерб. Сер. физ.-тех. – 2005. – **25**. – С. 189–196.

[3] *Lada C. J.* in Star Forming Regions / Eds M. Peimber, J. Jugaka, 1987. – P. 1–17.

[4] *Adams F. C., Lada C. J., Shu F. H.* Spectral evolution of young stellar objects // Astrophys. J. – 1987. – **312**, N 1. – P. 788–806.

[5] *Wilking B. A., Lada C. J., Young E. T.* IRAS observations of the ρ Ophiuchi infrared cluster – Spectral energy distributions and luminosity function // Astrophys. J. – 1989. – **340**, N 1. – P. 823–852.

[6] *Shu F. H., Najita J., Galli D., et al.* in Photostars and Planets III / Eds E. H. Levy, J. I. Lunine. – Tuscon, Univ. Arizona, 1993. – P. 3.

[7] *Kenyon S. J., Calvet N., Hartmann L.* The embedded young stars in the Taurus–Auriga molecular cloud. I. Models for spectral energy distributions // Astrophys. J. – 1993. – **414**, N 2. – P. 676–694.

[8] *Adams F. C., Shu F. H., Lada C. J.* The disks of T Tauri stars with flat infrared spectra // Astrophys. J. – 1988. – **326**, N 1. – P. 865–883.

[9] *Kenyon S. J., Hartmann L.* Pre-Main-Sequence evolution in the Taurus–Auriga molecular cloud // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1995. – **101**. – P. 117–171.

[10] *Mendoza E. E., Eugenio E.* Infrared photometry of T Tauri stars and related objects // Astrophys. J. – 1966. – **143**, N 3. – P. 1010–1015.

[11] *Cohen M.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1973. – **161**. – P. 97–104.

[12] *Rieke G. H., Lebofsky M. J.* The interstellar extinction law from 1 to 13 microns // Astrophys. J. – 1985. – **288**, N 1. – P. 618–621.