

ДЕТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ
СТРУКТУР ВОКРУГ LkH α 198

М.Г.ГЕВОРКЯН, Т.А.МОВСЕСЯН, А.Р.АНДРЕАСЯН, Т.Ю.МАГАКЯН

Поступила 30 марта 2016

Принята к печати 22 июня 2016

Приведены результаты исследования коллимированных потоков вблизи звезды LkH α 198. Наблюдения проводились на мультизрчковом спектрографе VAGR, установленном на 2.6-м телескопе БАО НАН РА. Была изучена морфология и кинематика эмиссионных структур в окрестностях LkH α 198, включая HH 161, получены карты электронных плотностей. Помимо сгустка HH 161, наши данные выявили дутообразную эмиссионную структуру, в апексе которой находится LkH α 198. Подобная форма обычно является прямым указанием на присутствие выдутой направленным истечением полости в темном облаке. Кроме того, обнаружен слабый "хвост" у HH 161, который тянется в направлении центральной звезды. Сопоставление этих результатов с данными наблюдений в радиодиапазоне позволяет заключить, что вероятным источником сгустка HH 161 является двойная система LkH α 198.

Ключевые слова: *Коллимированные потоки; объекты Херbiga-Аро; звезды типа HAeBe*

1. **Введение.** Объекты и потоки Херbiga-Аро (HH) представляют собой оптические проявления феномена коллимированных истечений, распространенного на ранней эволюционной стадии звезд малой и средней массы. Детальное исследование этих истечений позволяет не только изучить их взаимодействие с межзвездной средой, но и приблизиться к пониманию механизмов их формирования, пока еще точно не установленных.

В настоящей статье рассматриваются коллимированные потоки вблизи звезды LkH α 198. Эта довольно яркая звезда была обнаружена Хербигом и, наряду с соседней звездой V376 Cas, включена им в первый список так называемых Ae/Be звезд, связанных с туманностями [1]. Данные звезды, получившие впоследствии общепринятое обозначение HAeBe, являются эволюционно молодыми, расширяя класс звезд типа T Тау на объекты средней массы и светимости. Обе звезды находятся в темном облаке L1265 на расстоянии 600 пк [2]. Будучи связаны с отражательными туманностями характерной формы, они были включены в список кометарных туманностей Парсамян, Петросян [3]. Туманность вблизи LkH α 198 имеет форму отходящей от звезды эллиптической петли общей длиной до 40". Подобная форма обычно является прямым указанием на присутствие направленного

истечения из центрального объекта, которое выдувает полость в межзвездной среде. Дополнительным подтверждением подобной интерпретации в случае LkNa 198 являются просвечивающие через полость звезды фона и ее исключительно резкие внутренние стенки [4].

Действительно, еще в 1986г., в одном из первых обзоров с целью поиска НН объектов в областях активного звездообразования вблизи LkNa 198 был обнаружен яркий эмиссионный сгусток НН 161 [5], находящийся примерно в $12''$ от звезды под позиционным углом 100° . Впоследствии в этой области были обнаружены и другие НН-сгустки, что дало основание подозревать существование, по крайней мере, двух направленных истечений [4,6]. Дальнейшие исследования с высоким пространственным разрешением в этой области выявили еще один звездообразный источник (LkNa 198B), который находится на расстоянии $5-6''$ севернее [4,7,8]; наконец, спекл-интерферометрия позволила обнаружить тесную двойственность самой LkNa 198 [9]. Вопрос о том, какие именно из этих звезд являются источниками коллимированных потоков, достаточно сложен и пока не закрыт.

В настоящей работе приведены результаты исследования непосредственных окрестностей LkNa 198 методом интегральной спектроскопии в оптическом диапазоне, в том числе с целью изучения морфологии, кинематики и физических условий в объекте НН 161.

2. Наблюдения и обработка данных. Наблюдения проводились 12.01.2005г. на 2.6-м телескопе БАО НАН РА с помощью мультизрачкового спектрографа VAGR [10], установленного в первичном фокусе. Суммарная экспозиция составляла 3600с. Светоприемником служила ПЗС-матрица Loral размером 2063×2058 элементов. Поле зрения мультизрачкового спектрографа составляло $40'' \times 40''$ с масштабом $1''$ на один зрачок. Для того, чтобы избежать перекрытия спектров на приемнике, был использован узкополосный фильтр, центрированный на красный дублет [SII] $\lambda 6716 + \lambda 6731\text{Å}$, с полосой пропускания $\Delta\lambda = 75\text{Å}$. В качестве диспергирующего элемента применялась голографическая прозрачная решетка прямого зрения VPHG1800 с разрешением R около 3000.

Для обработки данных интегральной спектроскопии был применен программный пакет ADHOCw, разработанный в Марсельской обсерватории (<http://www.obs-hp.fr/ADHOC/adhoc.html>), с помощью которого производилось автоматическое извлечение индивидуальных спектров и калибровка по длинам волн. Дальнейший анализ данных, такой как построение результирующих карт излучения объекта в линиях [SII] и континууме, поля лучевых скоростей и др., проводился с использованием программных пакетов, разработанных в среде IDL. Точность определения лучевых скоростей, по нашей оценке, составляет ± 20 км/с.

3. *Результаты.* Как известно, мультизрачковая спектроскопия позволяет получить спектры каждого отдельного участка протяженного объекта и на их основе построить карты распределения интенсивностей тех или иных спектральных линий и физических параметров. Таким способом по данным наблюдений с системой VAGR были восстановлены изображения области LkH α 198 в обеих линиях красного дублета [SII] и в континууме. Как и следовало ожидать, в эмиссии [SII] выделяется HH 161, а в континууме – отражательная туманность, связанная с LkH α 198, однако картина распределения эмиссии (и, таким образом, электронной плотности) в отдельных линиях дублета сильно отличается. В то время как в линии 6716 Å на месте, соответствующем звезде LkH α 198, виден слабый, слегка продолговатый сгусток, в линии 6731 Å эта структура гораздо ярче и имеет четкую дугообразную форму, в апексе которой и находится LkH α 198 (рис.1).

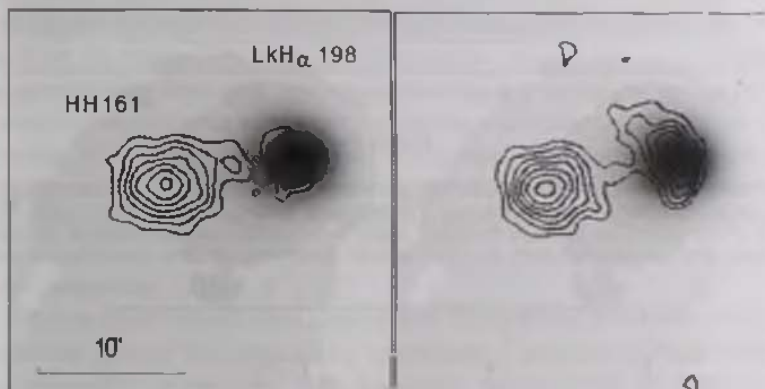


Рис.1. Восстановленные изображения области LkH α 198 в непрерывном спектре (полутона) и в эмиссии [SII] (изолинии). Слева приведено изображение в линии 6716 Å, справа – в линии 6731 Å. В эмиссии выделяются сгусток HH 161, слабая перемычка, связывающая его со звездой, и дугообразная структура вокруг звезды.

На карте поля лучевых скоростей, построенной по линиям [SII], хорошо заметно, что HH 161 имеет небольшой, но четко выраженный градиент скорости, охватывающий весь сгусток. Учитывая, что одним из преимуществ интегральной спектроскопии является возможность извлечь из куба данных псевдошелевые спектры с любой ориентацией щели, мы построили диаграмму "положение-скорость", соответствующую псевдощели, проходящей по линии, соединяющей LkH α 198 и HH 161 (рис.2). Как видно, в непосредственной близости от звезды гелиоцентрическая лучевая скорость эмиссий [SII] близка к нулю, далее же в пределах сгустка HH

161 она заметно меняется, достигая -40 км/с около наиболее удаленного от звезды края, электронная плотность в то же время не претерпевает

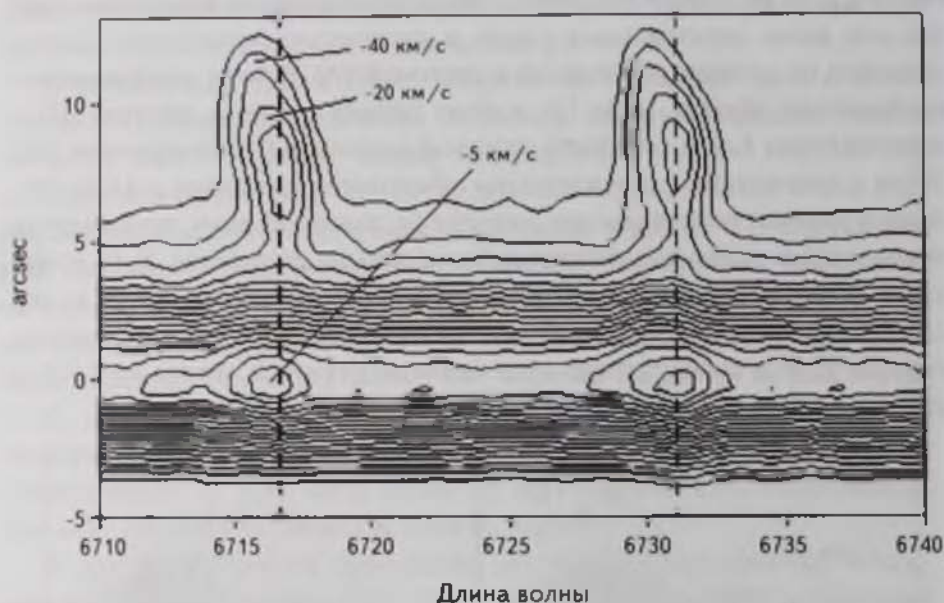


Рис.2. Диаграмма "положение-скорость" для линий [SII] $\lambda 6716$ и $\lambda 6731\text{\AA}$, построенная по данным интегральной спектроскопии. Спектральный разрез проходил через LkHa 198 и H β 161. Штриховыми линиями отмечены длины волн, соответствующие нулевой лучевой скорости.

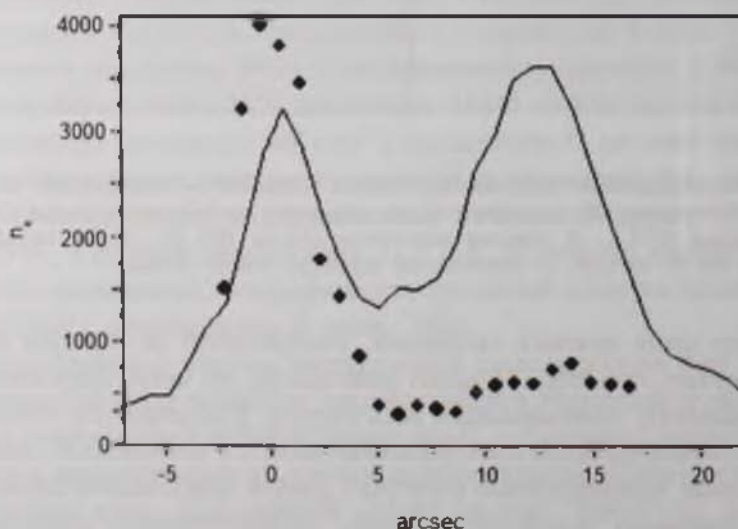


Рис.3. Диаграмма изменения электронной плотности вдоль псевдощели, проходящей через LkHa 198 и H β 161. Сплошной линией показана интенсивность эмиссии вдоль щели, а точками - электронная плотность, рассчитанная по отношению линий дублета [SII]. Нуль-пункт на оси абсцисс соответствует положению LkHa 198, а второй пик - H β 161.

значительных изменений.

Для более точной оценки последней было построено распределение отношения интенсивностей эмиссионных линий дублета [SII], и по нему рассчитана карта электронных плотностей для структур, наблюдающихся в данной области. На рис.3 приведена диаграмма, показывающая изменение электронной плотности вдоль описанной выше псевдошели. Видно, что ее значение в HH 161 равно около 500 см^{-3} , в то время как в дугообразной структуре близ звезды - около 4000 см^{-3} .

4. *Обсуждение и выводы.* При сравнении полученных нами данных с диаграммами, представленными в [4], сразу же можно заметить некоторые расхождения в кинематической картине. В частности, лучевая скорость эмиссионных линий у звезды LkHα 198 практически равна нулю, что совпадает с предыдущими оценками, однако далее на диаграмме позиция-скорость с удалением от LkHα 198 отчетливо видно увеличение абсолютных значений скорости по сгустку HH 161; между тем в работе [4] этот эффект не наблюдается. С другой стороны, полученные нами оценки электронной плотности неплохо согласуются с данными из [4], в том числе подтверждается некоторое возрастание плотности у переднего края сгустка HH 161. Отметим, однако, что приведенное в работе [4] значение электронной плотности для самой звезды LkHα 198 ($> 34000 \text{ см}^{-3}$) выглядит малообоснованным, поскольку уверенно оценить столь высокие плотности по отношению интенсивностей линий [SII] не представляется возможным (см., например, [11]).

Рассмотрим теперь восстановленные изображения области LkHα 198 в эмиссии дублета [SII] (рис.1). По сравнению с прямыми изображениями, полученными в узкополосных фильтрах, интегральная спектроскопия позволяет тщательно вычистить непрерывный спектр и изучить морфологию слабых эмиссионных структур на фоне отражательной туманности с большей надежностью. В отличие от данных, приведенных в работе [4], наши изображения показывают, что слабый "хвост" у HH 161 тянется скорее в направлении LkHα 198, а не LkHα 198B. Таким образом, они практически точно соответствуют изображениям, представленным в [12]. Весьма примечательна также эмиссионная структура, выявленная непосредственно вблизи LkHα 198. Хорошо заметно, особенно в линии 6731 Å , что по форме она напоминает дугу, в апертуре которой и находится центральная звезда. При этом данная структура имеет высокую электронную плотность практически по всему протяжению. Поэтому логично допустить, что в данном случае мы наблюдаем спектр звезды-источника, рассеянный на пылевых стенках конической полости, выдутой истечением. Данный объект можно сравнить с PP 11 [13], где, судя по прямым изображениям, яркость отражательной туманности в эмиссии [SII] вблизи звезды также повышена.

К настоящему времени в непосредственной близости от LkH α 198 известны два коллимированных оптических истечения. Одно из них фактически включает только HH 161 и чрезвычайно слабое пятно В близ удаленного края эллиптической петли [4]; второе – ряд также весьма слабых сгустков, объединенных в объект HH 164 [13] и заметно более удаленные HH 801 и HH 802, являющиеся, по-видимому, его терминальными зонами [6]. Еще один сгусток, HH 461 [13], может относиться к любому из этих истечений. Центральным объектом для потока HH 164, судя по всему, является LkH α 198, но источник HH 161 до сих пор четко не установлен. Авторы работ [4] и [13] пришли к выводу, что им может быть звезда LkH α 198B.

Возможно, общая картина несколько проясняется с привлечением данных, полученных в радиодиапазоне. Детальное картирование этой области в молекулярных радиоточках CO [14] выявило, в частности, два биполярных потока, причем оба они, согласно мнению авторов, исходят из LkH α 198. В то же время никаких признаков молекулярного истечения из соседней звезды LkH α 198B зарегистрировано не было. Самое же примечательное обстоятельство заключается в том, что позиционные углы этих молекулярных потоков практически совпадают с направлениями оптических истечений HH 164 и HH 161. Более того, лучевые скорости молекулярных потоков в области сгустка HH 161 являются отрицательными и после учета поправки к локальному стандарту покоя – довольно близкими к оптическим данным.

В свете обнаружения тесной двойственности LkH α 198 [9] остается допустить, что оба компонента этой звезды являются источниками потоков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта No. SCS 13-1C208, а также гранта ANSEF astroex-3802.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: mkrtych@bao.sci.am

DETAILED INVESTIGATION OF THE EMISSION STRUCTURES IN THE VICINITY OF LkH α 198

M.H.GEVORGYAN, T.A.MOVSESSIAN, H.R.ANDREASYAN,
T.Yu.MAGAKIAN

The results of the study of collimated jets near the star LkH α 198 are presented. The observations were performed with multi-pupil spectrograph

VAGR, mounted on 2.6m telescope of BAO. The morphology and kinematics of emission structures in the vicinity of LkH α 198 including HH 161, were studied. The map of electron densities was obtained as well. In addition to HH 161, our data revealed an arcuate emission structure with the LkH α 198 in the apex. It directly points to the presence of the cavity in dark cloud, blown by directed outflow. Moreover, a weak "tail" of HH 161, extended in the direction of the central star, was found. The comparison of these results with the observations in radio range allows us to conclude that the possible source of HH 161 is a binary system LkH α 198.

Key words: *Collimated jets: Herbig-Haro objects: H AeBe stars*

ЛИТЕРАТУРА

1. G.H.Herbig, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **4**, 337, 1960.
2. C.Chavarria-K., *Astron. Astrophys.*, **148**, 317, 1985.
3. E.S.Parsamian, V.M.Petrossian, *SoByu*, **51**, 3, 1979.
4. D.Corcoran, T.P.Ray, P.Bastien, *Astron. Astrophys.*, **293**, 550, 1995.
5. K.M.Strom, S.E.Strom, S.C.Wolff *et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **62**, 39, 1986.
6. F.McGroarty, T.P.Ray, J.Bally, *Astron. Astrophys.*, **415**, 189, 2004.
7. P.O.Lagage, G.Olofsson, S.Cabrit *et al.*, *Astrophys. J.*, **417**, L79, 1993.
8. D.C.Koresko, M.P.Harvey, J.C.Christou *et al.*, *Astrophys. J.*, **485**, 213, 1997.
9. K.W.Smith, Y.Y.Balega, W.J.Duschl *et al.*, *Astron. Astrophys.*, **431**, 307, 2005.
10. T.Movsessian, J.-L.Gach, J.Boulesteix, F.Zhamkotsian, *BaltA*, **9**, 518, 2000.
11. B.Proxauuf, S.Ott, S.Kimeswenger, *Astron. Astrophys.*, **561**, 10, 2014.
12. L.Asselin, F.Menard, P.Bastien *et al.*, *Astrophys. J.*, **472**, 349, 1996.
13. C.Aspin, B.Reipurth, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **311**, 522, 2000.
14. B.C.Matthews, J.R.Graham, M.D.Perrin, P.Kalzas, *Astrophys. J.*, **671**, 483, 2007.

