

РАДИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕМНЫХ ГЛОБУЛ В SER OB2

А.Л.ГЮЛЬБУДАГЯН

Поступила 11 апреля 2012

Принята к печати 22 июня 2012

Рассмотрена радиальная система, освещаемая центральными яркими OB-звездами. Проведены $^{12}\text{CO}(1-0)$ наблюдения трех глобул из этой системы. Зарегистрированы три молекулярных облака, которые являются темными глобулами радиальной системы в Ser OB2. Исследована группа ИК-звезд около границы глобулы с ободком (римом). Среди ИК-звезд одна звезда с яркими волокнами является МЗО (молодым звездообразным объектом). В радиальной системе имеются два М-образных ярких фронта, находящихся на вершине джета, возможно вылетевшего из звезды Вольфа-Райе WR113. Подобные М-образные фронты имеются также у объекта SNO 85.

Ключевые слова: *темные глобулы; ИК-звезды; вершина джета*

1. *Введение.* Радиальными системами темных глобул называют системы глобул, в которых глобулы расположены радиально относительно центральных звезд, вызвавших эту ориентацию. Глобулы в радиальных системах бывают с римами (яркими ободками) и без них. Согласно [1], радиальные системы бывают двух видов. 1. Системы с областью NII и с центральными звездами типа OB. 2. Системы без области NII и без центральных ранних звезд. По времени системы типа 1 являются более ранними. В данной статье рассматривается система типа 1, система N11 из [2].

2. *Радиальная система N11.* Система N11 находится в ассоциации Ser OB2. В [3] для этой ассоциации приводится расстояние ~ 2000 пк, значит и радиальная система находится на этом расстоянии. В системе N11 встречаются как глобулы с римами, так и глобулы без римов. Относительно системы N11 из [2] можно отметить, что в [2] неточно отмечены центральные звезды. В табл.1 приводятся данные о пересмотренных центральных звездах системы N11. В первом столбце табл.1 дан порядковый номер звезды, во втором и третьем столбцах - координаты звезд, в 4-8 - цвета звезд, в 9 - спектр звезд (данные взяты из Vizier).

Как видно из табл.1, цвета звезды 3 очень похожи на цвета звезды 1, отсюда можно заключить, что спектры этих звезд почти одинаковы, т.е. звезда 3 тоже класса B. Это означает, что все три центральные звезды радиальной системы N11 являются OB-звездами. Как известно, в радиальных системах типа 1 центральные звезды являются звездами типа O или

ДАННЫЕ О ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗВЕЗДАХ РАДИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ N11

N	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	V	B - V	J	J - H	H - K	Sp
1	18 ^h 17 ^m 31 ^s .50	-12°06'18".0	9.515	0.764	7.342	0.277	0.149	B
2	18 17 31.68	-12 06 21.0	9.61	0.92	—	—	—	OB
3	18 17 33.67	-12 05 42.8	10.425	0.748	8.399	0.247	0.128	

ранними В-звездами, что необходимо для образования радиальной системы и для поддержания ионизации области N11 вокруг этих звезд (звезды 1, 2 и 3 отмечены на рис.1).

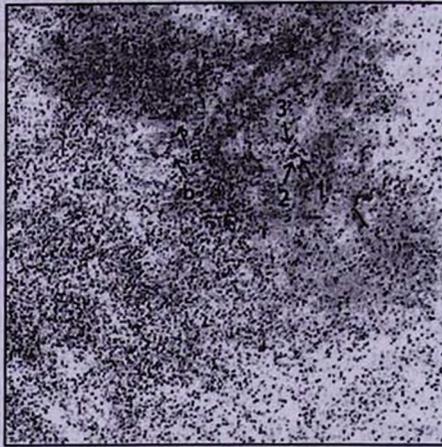


Рис.1. DSS2 R изображение радиальной системы N11. а, b - ионизационные фронты, 1, 2, 3 - соответствующие звезды из табл.1. Размеры изображения 54' x 54', север наверху, восток слева.

3. *M-образные яркие ионизационные фронты в ассоциации Ser OB2.* Интересной особенностью системы N11 является наличие двух *M-образных* ярких фронтов (объекты а и b на рис.1). Эти ионизационные фронты могли образоваться в среде, выброшенной из звезды Вольфа-Райе WR113, так как они перпендикулярны направлению на звезду WR113. Возможно, что эти ионизационные фронты являются вершинами джетов.

Радиационное охлаждение, вызванное столкновительным возбуждением и рекомбинациями, может фактически быть важным для энергетического баланса джетов, ассоциированных с МЗО и НН-объектами. В [4] было проведено детальное изучение охлаждающихся джетов, употребив численное моделирование для цилиндрически симметричных неадиабатических джетов. Как известно, звездные джеты были наблюдаемы во многих областях, где

образуются звезды малых масс. Эти джеты наблюдаются с помощью эмиссионных линий с малым возбуждением, например [SII], которые образуются в газе, нагреваемом в непрозрачных ударных фронтах внутри сверхзвукового пучка. Эти джеты хорошо коллимированы, с углами раствора в несколько градусов, сверхзвуковые, с числом Маха $M \sim 20$ и температурой $T \sim 10^4$ K [4]. Наблюдения свидетельствуют, что многие, если не все НН-объекты связаны с джетами. Давая плотность ($\sim 10 - 100 \text{ см}^{-3}$) и скорость ударного фронта ($\sim 50 - 200 \text{ км/с}$), типичную для звездных джетов и НН-объектов, получается, что время охлаждения нагреваемого ударным фронтом газа часто меньше динамического возраста этих объектов [4]. Отсюда вытекает, что предположение об адиабатическом газе неприемлемо, нужно рассматривать радиационные ударные фронты. Интерпретация НН-объектов с помощью радиационных ударных фронтов, как впервые было предложено Шварцем [5], обеспечило хорошее совпадение с наблюдаемым отношением линий. Большинство НН-объектов не видны как явные дугообразные ударные фронты в вершине ярких звездных джетов. Вычисления показывают [6], что некоторые из этих сложных, часто разделенных на облачка, эмиссионных объектов могут быть ассоциированы с активной поверхностью в вершине звездных джетов. Динамическая оболочка в вершине джета часто превращается в несколько маленьких сгустков повышенной плотности, образуя группу эмиссионных объектов, напоминающую группу объектов НН. Когда оболочка начинает разрушаться, сгустки фактически возникают из одной оболочки и все еще динамически ассоциируются с активной поверхностью джета. В [6] вывели, что эта эволюция может привести к отдельным эмиссионным сгусткам, показывающим значительную разницу в собственных скоростях, хотя они произошли из той же газовой оболочки. Сходный механизм разрушения оболочки может быть вызван нестабильностью Рэлея-Тейлора из-за прохождения джета через среду с большим градиентом плотности. Можно предположить, что джет на стороне НН2 недавно достиг области более низкой плотности, из-за чего оболочка джета разрушилась, образуя несколько сгустков с довольно большой разницей в скоростях (то есть сам объект НН2) [6]. В [7] нами были рассмотрены объекты НН1, НН2 и НН39, представляющие группы сгустков, скорости которых разительно отличаются друг от друга. В системе центра инерции скорости этих сгустков исходят из одного центра, что близко к вышеизложенной теории образования комплексных НН-объектов путем разрушения эмиссионной оболочки джета [7]. Значения скоростей тел, распад которых приводит к образованию групп сгустков, получаются довольно близкими: 240 км/с для НН1, 175 км/с для НН2 и 218 км/с для НН39 (эти значения близки к приведенной выше скорости максимального ударного фронта - $\sim 200 \text{ км/с}$). Близки также значения средних скоростей

сгущений в системе центра инерции: 63 км/с для НН1, 71 км/с для НН2 и 114 км/с для НН39 [7]. В [8] приводится случай наличия двух, отличающихся на ~200 км/с, радиальных скоростей у НН46. Возможно, что у этого объекта два сгущения еще не успели пространственно разделиться.

В струе, выброшенной из ядра галактики NGC5128, имеется компактная группа эмиссионных сгущений со значительным разбросом скоростей [9]. Можно предположить, что эта группа эмиссионных сгустков также образовалась путем распада ионизационного фронта в вершине сверхзвукового джета, выброшенного из ядра галактики.

Морфология сверхзвуковых джетов (адиабатических или охлаждаемых) может быть разделена на несколько структур: сверхзвуковой пучок, кокон сжатого газа пучка, сжатый окружающий газ и ведущий дугообразный ударный фронт. Термин джет употребляется довольно свободно, обычно для описания всей структуры, но иногда только для сверхзвукового газа [4].

Намного более превалирующим свойством охлаждаемых джетов (на самом деле это наиболее удивительный результат приближений) является динамическая нестабильность плотной оболочки в вершине джета. Рис.4 [4] описывает типичное разрушение оболочки джета через динамическую нестабильность. В этом особом случае начальная деформация оболочки вызвана неравномерным охлаждением позади ударного фронта джета. Отклоненный джет входит в пучок с высоким давлением в коконе, образуя кольцо более плотного газа вокруг границ пучка. Это делает расстояние охлаждения позади ударного фронта джета меньше на границе пучка, чем в его центре. Быстрое охлаждение окружающего газа ведет к образованию кольца плотного вещества в области постшока, образуя отверстие, через которое более разреженный, охлажденный газ выталкивается давлением постшока. Когда это отверстие сжимается, то действует как сепло де Лавала, ускоряя горячий газ к сверхзвуковым скоростям. В процессе ускорения оболочки начинают расти нестабильности Рэлея-Тейлора, образуя иррегулярности в оболочке (см. рис.4 в [4]). На рис.4 [4] можно видеть разные профили вершины джета, на рис.4d профиль M -образный, как и у отмеченных нами ионизационных фронтов в ассоциации Ser OB2. Как отмечено в [4], профиль на рис.4d имеет возраст ~1500 лет.

Последующее расфокусирование джета уменьшит введенный в [4] параметр охлаждения для джета χ_j , делая охлаждение более важным и снова уменьшая давление кокона. Сильное охлаждение уменьшает давление кокона, которое ограничивает пучок, давая ему расширяться до точки, где охлаждение уже недостаточно сильное, чтобы уменьшить давление кокона и пучок опять будет ограничен коконом. Расширение пучка также будет остановлено, если давление джета упадет достаточно ниже давления окружающего газа [4]. Отсюда можно заключить, что при расширении

джета температура упадет и вместо оптического фронта мы увидим фронт, видимый в радиодиапазоне, причем размеры этого радиофронта будут больше размеров оптического фронта.

Направление на звезду Вольфа-Райе WR113 перпендикулярно ионизационным фронтам *a* и *b*, что подтверждает предположение об ионизационных фронтах как о вершине джета, выброшенного из WR113.

Следует отметить, что имеется еще один случай наличия двух *M*-образных фронтов - около объекта SNO85 (объекты *a* и *b* на рис.2). Имеется радиисточник, который примерно совпадает с фронтом *a* (см. рис.3) и имеет сходную структуру, но в два раза больше по размерам. Этот источник VLA2 был найден в результате VLA наблюдений на волне 3.6 см. Можно предположить, что эта радиоструктура является фронтом,

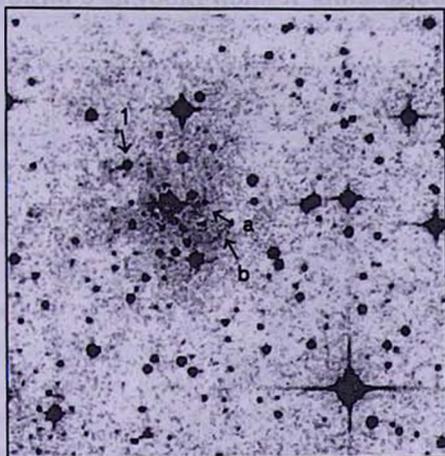


Рис.2. DSS2 *R* изображение объекта SNO85. *a*, *b* - *M*-образные ионизационные фронты, 1 - звезда с выбросами. Размеры изображения $b' \times b'$, север наверху, восток слева.



Рис.3. Радиисточник VLA 2. ИК источник IRAS17547-1832 (большой крест) и микронный источник MSX 6 (малый крест) на 2MASS *K* изображении объекта SNO85.

образованным при расширении джета, что, как указано выше, приводит к снижению температуры и к увеличению размеров фронта.

Что касается второго случая наличия ионизационных фронтов у объекта SNO85, то вероятным источником этого джета может быть звезда I с выбросами (см. рис.2). Направление на эту звезду перпендикулярно *M*-образным джетам у SNO85.

4. $^{12}\text{CO}(1-0)$ наблюдения темной глобулы с римом. Наблюдения проведены на 15-м SEST (Швеция - ESO субмиллиметровый телескоп) телескопе в Серро Ла Силлья, Чили. На 111GHz диаграмма направленности телескопа 45" и эффективность пучка 0.70, использована частотная модуляция. Наблюдения в направлении источника были проведены с пространственными интервалами в 40".

На рис.4 даны изображения темной глобулы с римом и двух соседних темных глобул.

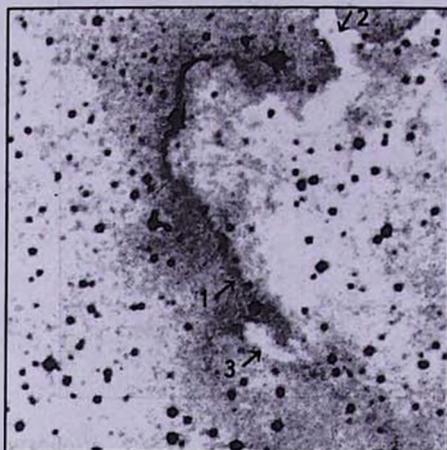


Рис.4. DSS2 *R* изображение глобулы с римом из радиальной системы N11. 1 - глобула с римом, 2 - глобула к западу от 1, 3 - глобула к востоку от 1. Размеры изображения 6' x 6', север наверху, восток слева.

На рис.5 приводятся спектры $^{12}\text{CO}(1-0)$ наблюдений темной глобулы с римом и ее окрестностей.

На основании данных рис.5 можно найти распределение скоростей в исследованной области. Ниже приводится табл.2, в которой ячейки соответствуют ячейкам на рис.5. В ячейках табл.2 помещены радиальные скорости в км/с.

Как видно из табл.2, радиальные скорости группируются около трех значений: 1. 29.4 км/с; 2. 30.6 км/с; 3. 32.8 км/с. Первое значение скорости встречается начиная со второго столбца, занимая верхние строчки, а в последних двух столбцах занимает все строчки. Второе значение скорости

начинается со второго столбца и доходит до предпоследнего, занимая нижние строчки. Третье значение скорости встречается в столбцах 5, 6 и

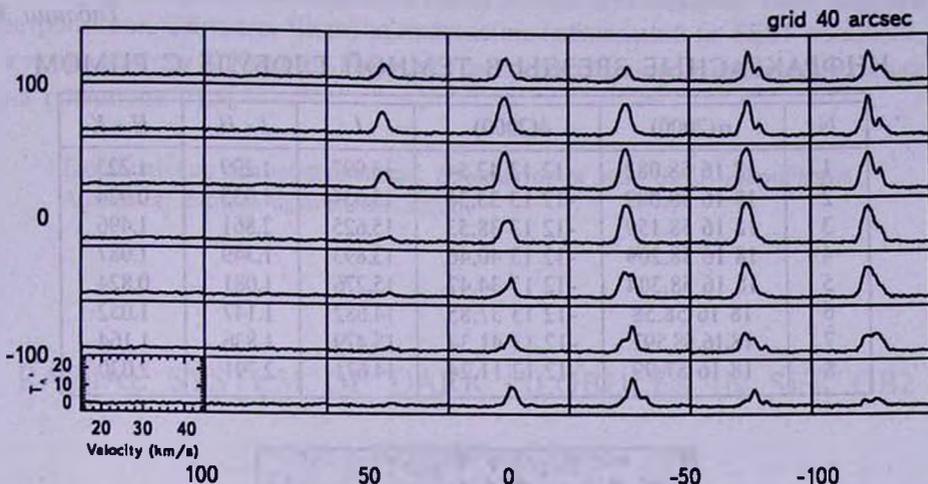


Рис.5. $^{12}\text{CO}(1-0)$ спектры темной глобулы с римом и ее окрестностей. Координаты центра $\alpha(2000) = 18^{\text{h}}16^{\text{m}}58^{\text{s}}.1$; $\delta(2000) = -12^{\circ}13'42''.2$.

7. Если мы сравним расположение глобул на рис.4 с расположением радиальных скоростей в табл.2, то можем заключить, что скорость глобулы 1 примерно ~ 29.4 км/с, скорость глобулы 2 ~ 30.6 км/с и скорость глобулы 3 ~ 32.8 км/с: глобула с римом 1 находится в центре, маленькая глобула 2 расположена к западу от этой глобулы, а глобула 3 - к востоку от центральной глобулы. Это расположение глобул соответствует расположению радиальных скоростей в табл.2.

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ВОКРУГ ТЕМНОЙ ГЛОБУЛЫ С РИМОМ

—	28.8	28.8	29.1	29.4	29.7; 32.2	29.4; 32.8
—	—	28.8	28.8	29.1	29.7; 32.5	29.4; 32.5
—	—	28.8	29.1	29.1	29.4; 32.5	29.4; 32.5
—	—	30.6	29.4	29.1	29.4	29.4; 32.5
—	—	30.6	30.6	28.5; 30.6	29.1	29.4; 32.5
—	—	30.6	30.3	28.2; 30.6	28.8; 30.9; 33.5	29.4; 32.5
—	—	30.6	30.3	30.3; 33.5	28.2; 30.9; 34.1	29.1; 31.9

5. ИК-звезды на краю темной глобулы. Около края темной глобулы с римом находится группа ИК-звезд (1 на рис.6). В табл.3 представлены цвета этих звезд. В первом столбце таблицы приведены номера звезд, в столбцах 2 и 3 - координаты этих звезд, в столбцах 4 - 6 - цвета

звезд (данные взяты из Vizier). В темной глобуле расположена также интересная ИК-звезда с волокнами (звезда 2 на рис.6). В табл.3 это звезда 8.

Таблица 3

ИНФРАКРАСНЫЕ ЗВЕЗДЫ В ТЕМНОЙ ГЛОБУЛЕ С РИМОМ

N	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	J	$J - H$	$H - K$
1	18 16 58.082	-12 13 42.54	13.997	1.299	1.223
2	18 16 58.089	-12 13 33.36	15.654	1.035	0.924
3	18 16 58.159	-12 13 38.53	15.625	2.861	1.496
4	18 16 58.209	-12 13 40.46	13.893	1.349	1.087
5	18 16 58.304	-12 13 34.47	15.276	1.081	0.824
6	18 16 58.58	-12 13 37.85	14.682	1.147	1.052
7	18.16.58.597	-12 13 41.34	15.479	1.836	1.164
8	18 16 57.99	-12 12 11.24	14.671	2.791	2.030

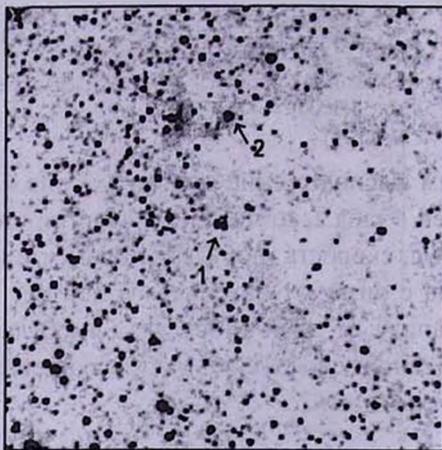


Рис.6. 2MASS K изображение глобулы с римом. 1 - группа ИК-звезд, 2 - ИК-звезда с яркими волокнами. Размеры изображения 6' x 6', север наверху, восток слева.

6. Заключение. Исследована радиальная система темных глобул в ассоциации Ser OB2. Уточнены центральные звезды этой системы, которые оказались типа OB. В $^{12}\text{CO}(1-0)$ пронаблюдена окрестность одной из темных глобул радиальной системы, обнаружено наличие трех молекулярных облаков с различными скоростями. Исследована группа ИК-звезд, расположенных около границы темной глобулы. Одна из этих звезд имеет яркие волокна и ИК-цвета, типичные для МЗО. В радиальной системе находятся два ярких M -образных ионизационных фронта, которые по-видимому являются головным фронтом джета, выброшенного из звезды типа Вольфа-Райе WR113, расположенной в ассоциации Ser OB2. Фронты перпендикулярны направлению на WR113. Сходные M -образные фронты найдены около

объекта SNO85.

Автор выражает благодарность проф. Х.Маю (университет Чили, кафедра астрономии, Сантьяго, Чили) за проведение наблюдений на SEST телескопе, а также доктору К.Караско-Гонсалесу за предоставление данных наблюдений на телескопе VLA.

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

RADIAL SYSTEM OF DARK GLOBULES IN SER OB2

A.L.GYULBUDAGHIAN

Radial system of dark globules illuminated by central bright OB stars is investigated. $^{12}\text{CO}(1-0)$ observations of three globules from this system are carried out. Three molecular clouds are registered, which are dark globules of radial system in Ser OB2. A group of IR stars, situated at the edge of a globule with rim is investigated. Among IR stars one star with bright filaments is a YSO (young stellar object). In radial system two M-shaped bright fronts which are situated at the head of a jet, probably escaping from the W-R type star WR113, are situated. Similar M-type fronts are also situated near the object SNO 85.

Key words: *dark globules:IR stars:head of jet*

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Л.Гюльбудагян, Астрофизика, 36, 313, 1993.
2. А.Л.Гюльбудагян, В.А.Акопян, Астрофизика, 33, 396, 1990.
3. I.Ruprecht, B.Balazs, R.E.White, Catalogue of star clusters and associations, Suppl. I, Budapest, 1970.
4. J.M.Blondin, B.A.Fryxell, A.Konigl, Astrophys. J., 360, 370, 1990.
5. R.D.Schwartz, Astrophys. J., 195, 631, 1975.
6. J.M.Blondin, A.Konigl, B.A.Fryxell, Astrophys. J., 337, L37, 1989.
7. А.Л.Гюльбудагян, Астрофизика, 20, 115, 1984.
8. M.A.Dopita, Astrophys. J. Suppl. Ser., 37, 117, 1978.
9. P.Osmer, Astrophys. J., 226, L76, 1978.