

УДК 524.337.2

ДЕТАЛЬНОЕ СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТА ХЕРБИГА—АРО RNO 43N

Т. Ю. МАГАКЯН, Т. А. МОВСЕСЯН

Поступила 30 января 1992

Принята к печати 25 февраля 1992

Приводятся результаты спектральных наблюдений коллимированного выброса RNO 43N на 6-м телескопе со спектрографом с длинной щелью и многозрачковым волоконным спектрографом (MPFS). Найден дугообразный ударный фронт в конце джета. Для этой области приводятся карты лучевых скоростей и электронных плотностей.

1. *Введение.* Открытые в 1983 г. [1, 2] оптические коллимированные потоки вещества (джеты) из молодых звезд и связанные с ними объекты Хербига—Аро (HH—объекты) представляют собой одно из проявлений активных нестационарных процессов, протекающих в областях звездообразования. Поиски и изучение таких потоков представляют значительный интерес как для выявления новых областей звездообразования, так и для анализа взаимодействия молодых звезд с межзвездным веществом. Многие джеты связаны с другими анизотропными явлениями, таким как молекулярные потоки.

Одним из интересных примеров коллимированного истечения является объект, находящийся в молекулярном облаке около λ Ori, где наблюдаются и оптические выбросы и молекулярные потоки. Вначале здесь был обнаружен HH—объект RNO 43 (GM1—16) [3, 4]. Позднее Джоунсом и др. [5] было найдено несколько отдельных туманных узлов (*b*, *c*, *d*), имеющих значительное собственное движение, и находящихся примерно в $5'$ к северу от самого RNO 43, обозначенного ими как узел *a*. Мундт и др. [6] и Рэй [7] на глубоких изображениях, полученных с узкополосными фильтрами, выделили в этой области два коллимированных потока: RNO 43S и RNO 43N. Первый из них связан с RNO 43 (конденсация *a*); второй проходит через конденсации *b*, *c*, *d* и другие (подробная номенклатура содержится в статье [6]). Нужно отметить, что эти два объекта расположены под углом 40° , и на этом

основании сделан вывод о том, что здесь имеют место два истечения. Более того, у обоих потоков наблюдается характерная структура ударного фронта, который обычно расположен в голове истечения.

Радиокарты данной области в линиях CO [8] сперва как будто подтверждали предположение о наличии здесь двух отдельных потоков. Но более поздние радионаблюдения [9] свидетельствуют, видимо, в пользу одного, весьма протяженного молекулярного потока. Тем не менее, взаимосвязь оптических джетов и молекулярных потоков здесь далеко еще не ясна, равно как нельзя ничего сказать с определенностью и о том, какой объект (или объекты) является источником.

Несмотря на свою очень интересную морфологию (особенно в северной, более яркой части, где наблюдается дугообразная структура, напоминающая фронт ударной волны), объект RNO 43N, насколько нам известно, не подвергался детальным спектральным наблюдениям. В данной работе сделана попытка, с помощью спектроскопии с длинной щелью при высоком спектральном и пространственном разрешении, выяснить кинематические и физические параметры этого комплекса. Кроме этого, с помощью многозрачкового спектрографа (MPFS) получены детальные карты физических параметров сгустка e , являющегося предполагаемой головой всего комплекса RNO 43N.

2. Наблюдения. Все наблюдения проводились в первичном фокусе 6-м телескопа. 31 октября 1989 г. мы получили одну экспозицию с мультизрачковым волоконным спектрофотометром (MPFS). Эта система, реализующая идею Куртеса [10], разработана и изготовлена в CAO [11]. Основной ее принцип сводится к тому, что в фокальной плоскости телескопа располагается матрица из 15×15 микролинз, каждая из которых соответствует участку небесной сферы размером $1''.25 \times 1''.25$. Микролинзы связаны с волоконными световодами, выходные концы которых собраны наподобие длинной щели спектрографа. В качестве светоприемника использовалась панорамная система счета фотонов на 512×512 пикселей [12]. При наших наблюдениях использовалось 80 световодов и, таким образом, одновременно изучалась область неба размером $10'' \times 12''.5$. Спектральный диапазон для всех спектров составлял 6200—6900 Å, эффективное разрешение — порядка 3 Å.

Как показал опыт, эта аппаратура является очень эффективным средством изучения эмиссионных объектов низкой поверхностной яркости и сложной структуры, в особенности таких, которые невозможно увидеть на экране телевизионной системы гидирования.

Обработка результатов проводилась в два этапа. Сперва делалась коррекция дисторсии ЭОП и нормализация к плоскому полю по

методике, описанной в [13]. Затем, с помощью специально разработанной программы [14], выполнялись извлечение отдельных спектров из двумерного изображения и их индивидуальная калибровка. Все вычисления были сделаны на ПЭВМ АТ—386 в Бюраканской обсерватории.

Кроме того, 17 января 1989 г. были получены два длиннощелевых спектра RNO 43N с помощью спектрографа УАГС и панорамной системы счета фотонов [15]. Спектральный диапазон и разрешение были сходными. Щель ориентировалась вдоль коллимированного потока; в первом случае она проходила через конденсацию с, во втором—через *d* и *e*.

3. Результаты. На длиннощелевых спектрограммах присутствуют эмиссионные линии H_{α} , [SII] и [OI]; однако линия H_{α} RNO 43N наложена на слабый эмиссионный фоз, а линии [OI] сильно блендированы эмиссиями ночного неба. Тем не менее, оказалось возможным выделить в этих спектрах отдельные конденсации джета RNO 43N. В таблице 1 приведены оценки гелиоцентрических лучевых скоростей и электронной плотности (по линиям [SII]) для четырех из них.

Как можно видеть, наблюдаются в основном отрицательные скорости. Однако присутствует большая дисперсия скоростей и плотностей в отдельных сгустках. Высокое значение N_e в сгустке *d* (несколько удлиненом) является, несомненно, реальным и легко может быть усмотрено из откошения линий [SII] на всем его протяжении.

Наиболее интересным, однако, является уширение эмиссионных линий в конденсации *e*, в ее северной стороне, так что на двумерных спектрах их изолинии имеют треугольную форму [16], достигая в максимуме ширины 230 км/с. На рис. 1 показан вид линий [SII] в сгустке *e* на длиннощелевых спектрах. Эта форма характерна для областей с сильным ударным возбуждением, в тех участках, где поток тормо-

Таблица 1

Сгусток	b	c	d	e
V_r (км/с)	-12	-82	0	-74
N_e (см ⁻³)	240	180	860	490

зится при столкновении с плотной межзвездной средой, и образуется дугообразная ударная волна [17]. Мы можем, таким образом, сделать вывод, что сгусток *e*, находящийся на северной стороне потока RNO 43N, является зоной удара для этого потока. Поскольку сабст-

венные движения сгустков RNO 43N направлены в эту же сторону [5], можно утверждать, что торможение быстродвижущегося потока происходит как раз в северной части конденсации ϵ . Это и послужило причиной выбора конденсации ϵ для изучения с помощью MPFS.

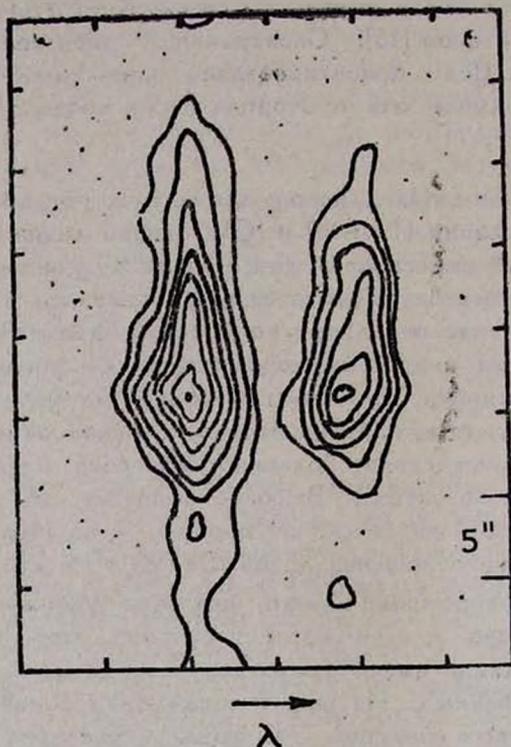


Рис. 1. Область спектра сгустка ϵ , охватывающая линии [S II], полученная на спектрографе с длиной щелью.

На спектрах, полученных с MPFS, легко можно видеть эмиссии H α и [S II], принадлежащие объекту. После первичных редукиций и калибровок для каждого спектра были получены интенсивности и лучевые скорости этих линий. Затем эти данные были представлены в виде карт, соответствующих виду объекта на входной матрице спектрофотометра.

На рис. 2 показано ПЗС—изображение RNO 43N, взятое из [6], и распределение интенсивностей эмиссионной линии 6716 [S II] в сгустке ϵ . Ясно просматривается дугообразная структура. В линии [S II]

она видна особенно четко, хотя заметна и в H_1 , при том, что распределение интенсивностей для этой линии отягочено фоновой эмиссией. Мы можем заключить, что именно эта дуга и является фронтом ударной волны.

Для каждого из спектров мы получили также оценки лучевой скорости и отношений $I(6716)/I(6730)$, $I(6716)/I(H_1)$, характеризующих электронную плотность и уровень возбуждения. Далее были построены карты физических параметров объекта, которые повторяют дугообразную структуру сгустка e . Наибольший интерес представляют изменения этих параметров вдоль выброса, полученные суммированием центральных столбцов этих карт.



Рис. 2. Слева—глубокое изображение головы RNO 43N (из работы Мунда и др., [6]), прямоугольником отмечена область, охватываемая магрядцей MPFS, Справа—карта интенсивностей в линиях [SII], построенная по данным MPFS.

На рис. 3 приводятся кривые изменения физических параметров вдоль оси выброса в сгустке e , полученные из карт физических параметров, рассчитанных по спектрам MPFS. Как видно из графиков, электронная плотность максимальна на краю дугообразной структуры (800 см^{-3}) и быстро падает за ней (140 см^{-3}). Затем, близ центральной части она опять поднимается (580 см^{-3}). Лучевая скорость сначала увеличивается к краю ударной волны (-100 км/с) и также быстро падает до нуля. А как видно из отношений $I(6716)/I(H_1)$, до некоторой степени характеризующих уровень возбуждения, последний также максимален у края эмиссионной дуги. Вблизи центра возбуждение должно быть низким, поскольку там это отношение больше единицы.

В целом эта картина согласуется с новейшими представлениями о том, как должна выглядеть дугообразная ударная волна в HH-объекте. Можно отметить определенное сходство с распределением N_e в

НН1 [18], а именно присутствие двух пиков плотности у края и центра объекта. В общем смысле имеется также согласие с теоретическими моделями подобных структур (см., например, [19]), но для более подробного сопоставления эти модели нельзя признать достаточно разработанными.

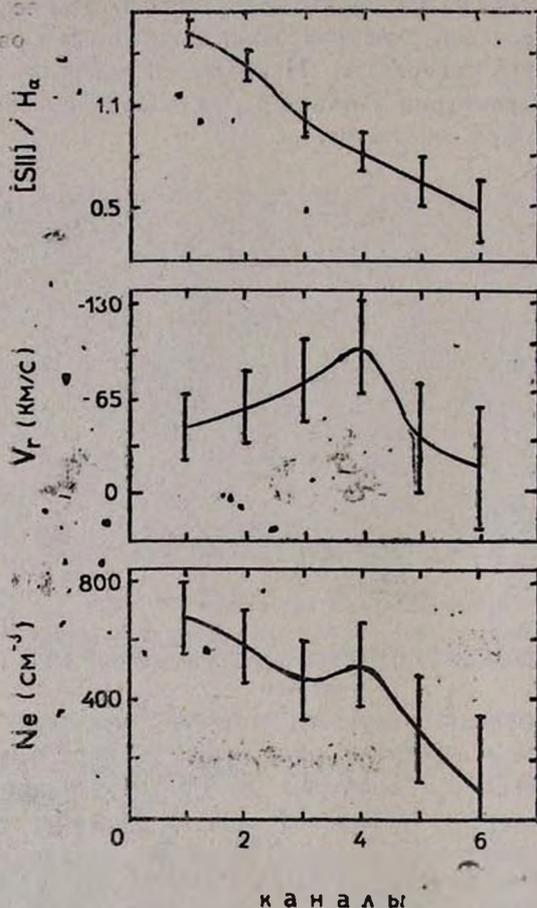


Рис. 3. Диаграммы изменения физических параметров (N_e , V_r и $[SII]/H\alpha$) в стужке ϵ , вдоль оси выброса (на оси абсцисс расстояние от центра стужки дел. 1".25). Данные получены из наблюдений на MPFS.

4. *Обсуждение и заключение.* Таким образом, результаты, приведенные выше, в первую очередь указывают на большие измене-

ния плотности, уровня возбуждения и лучевой скорости в отдельных узлах вдоль выброса RNO 43N. Подобные же сильные колебания наблюдались и в других объектах (см., например, [6, 20]). Во-вторых, данные MPFS свидетельствуют о том, что сгусток e является головной частью этого выброса и здесь он тормозится, сталкиваясь с плотной межзвездной средой.

Кратко рассмотрим три известные модели НН-объектов.

1. Модель "обдуваемых облаков", предложенная Шварцем [21], где коллимированный звездный ветер, сталкиваясь на своем пути с плотными облаками, создает дугообразную область ударного возбуждения, вершина которой направлена в сторону источника. Эта модель не согласуется с результатами наших наблюдений, так как здесь мы имеем дело с зоной ударного возбуждения, ориентированной в противоположную сторону от источника.

2. Модель "джета" [6]. В этой модели высококоллимированный стационарный поток (джет) на своем конце создает область ударного возбуждения, а сгустки вдоль потока являются следствием внутренних нестабильностей потока. На прямых изображениях RNO 43N можно представить как группу объектов Хербига-Аро, расположенных почти на одной линии и заканчивающихся дугообразным ударным фронтом. И этот вид вполне вписывается в модель квазистационарного джета. Но результаты спектральных наблюдений, которые показывают сложную структуру физических параметров вдоль объекта, при рассмотрении в рамках этой модели, встречаются с большими трудностями особенно нужно отметить сравнительно низкое возбуждение и плотность в голове джета (сгусток e).

3. Модель "межзвездных пуль", разработанная Норманом и Силком [22], предполагает выброс плотных сгустков вещества из молодых звезд. В рамках этой модели можно рассматривать дискретные выбросы с индивидуальной массой и скоростью. В этом случае можно объяснить сильное различие физических параметров в разных сгустках вдоль выброса.

На наш взгляд, для описания RNO 43N достаточно хорошо подходит именно эта модель, так как она согласуется с ориентацией ударного фронта, а также со сложным полем скоростей и плотностей вдоль выброса. Такая же сложная структура физических параметров наблюдается также в комплексе НН7—НН11 [23], которую трудно объяснить в рамках одной модели, и, вообще, не все НН-объекты могут быть представлены моделью "межзвездных пуль" (например, НН43 [24]). Вместе с тем, у некоторых объектов (НН11, НН46/47)

были обнаружены несколько дугообразных структур вдоль оптического потока, которые свидетельствуют о дискретном процессе выброса вещества из молодых звездных объектов. Все это указывает на значительное разнообразие проявлений такого феномена, как джеты и связанные с ними HH-объекты.

Но, как уже отмечалось, мы склонны думать, что в случае оптических джетов, связанных с молодыми звездами, имеет место не стационарный процесс, а дискретный выброс вещества с индивидуальной массой и скоростью. Эта точка зрения подтверждается также последними наблюдательными данными, полученными Рейпуртом [25].

Конечно, пока достаточно хорошо изучена только небольшая часть известных оптических джетов и HH-объектов; с другой стороны, теоретическое моделирование профилей эмиссионных линий и структур ударных волн для них только начинается. Мы можем надеяться, что наблюдения с системами, подобными MPFS, позволяющими за короткое время получать карты основных физических параметров для объектов в целом, а не только для одного его сечения, позволят сделать следующий шаг в этом направлении.

Авторы признательны О. К. Сильченко и В. В. Власюку за большую помощь во время наблюдений и разрешение использовать некоторые редуцированные программы и В. Л. Афанасьеву за многочисленные полезные обсуждения и содействие в реализации программы наблюдений.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

DETAILED SPECTRAL INVESTIGATION OF HERBIG-HARO OBJECT — RNO 43N

T. YU. MAGAKIAN, T. A. MOVSESSIAN

The results of spectral observations for RNO 43N collimated outflow with long slit and multi pupil fibre spectrograph (MPFS) on 6-m telescope are presented. The bow-shock structure is found in the head of flow. The maps of radial velocity and electron density are given for this area.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Mandt, J. Stocke, H. S. Stockman, *Astrophys. J. Lett.*, 265, L71, 1983.
2. R. Mandt, J. W. Fried, *Astrophys. J. Lett.*, 274, L83, 1983.
3. А. А. Гюльбудалян, Т. Ю. Магакян, *Письма в Астрон ж.* 3,113, 1977.

4. *M. Cohen*, *Astron. J.* 85, 29, 1980.
5. *B. F. Jones, M. Cohen, M. Strk, R. Jarrett*, *Astron. J.* 89, 1404, 1984.
6. *R. Mandt, E. W. Brugel, T. Bahrke*, *Asiophys. J.* 319, 275, 1987.
7. *T. P. Rag*, *Astron. Astrophys.*, 171, 145, 1987.
8. *S. Edwards, R. L. Snell*, *Astrophys. J.*, 281, 237, 1984.
9. *S. Cabrit, P. F. Goldsmith, R. L. Snell*, *Astrophys. J.*, 334, 196, 1988.
10. *G. Courtes, Y. Georgeltn, R. Bacon, G. Monnet, J. Boulesteix*. in: *Instrumentation for Ground-Based Optical Astronomy: Present and Future*, ed. L. V. Robinson, 1988, p. 404.
11. *В. Л. Афанасьев, В. В. Власюк, С. Н. Додонов, О. К. Сильченко*, 1990, Препр. Спец. астроф. обсерв., № 54.
12. *В. Л. Афанасьев, Ю. Ю. Балага, М. А. Груздянский, Б. М. Кац, С. В. Маркелов, В. С. Ноженко, И. И. Цукерман*, *Техника телевидения*, 5, 13 1987,.
13. *В. В. Власюк*, 1990, Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., (в печати).
14. *Т. А. Мовсесян*, 1991, Сообщ. БАО, (в печати).
15. *М. С. Аллядин, В. Л. Афанасьев, А. Б. Берлин, А. Н. Буренков, О. О. Завадская*, 1988, Сообщ. САО, No 59.
16. *Т. Ю. Магалян, Т. А. Мовсесян*, in „Flare Stars in Star Clusters, Associations and the Solar Vicinity“. (IAU Symp. No. 137), ed. L. V. Mirzoyan et al. 1990, p. 267.
17. *S. U. Cho, K. H. Bohm, J. Solf*, *Astrophys. J.*, 288, 338, 1985.
18. *J. Solf, K. H. Bohm, A. Raga*, *Astrophys. J.*, 334, 229, 1988.
19. *A. Noriega-Crespo, K. H. Bohm, A. C. Raga*, *Astron. J.*, 99, 1918, 1990.
20. *Т. Ю. Магалян, Т. А. Мовсесян, В. Л. Афанасьев, А. Н. Буренков*, *Письма в АЖ*, 15, 124, 1989.
21. *R. D. Schwartz*, *Astrophys. J.*, 223, 834, 1978.
22. *C. Norman, J. Silk*, *Astrophys. J.*, 228, 197, 1979.
23. *J. Solf, K. H. Bohm*, *Astron. J.*, 93, 1172, 1987.
24. *К. Н. Вöhm, J. Solf*, *Astrophys. J.*, 348, 297, 1990.
25. *B. Raipurth*, *ESO Scientific Prepr*, No. 763, 1991.