

УДК 524.5-32; 524.45-52

## ДЕТАЛЬНОЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ХЕРБИГА–АРО В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОБЛАСТИ NGC 7129

© 2015 Т. А. Мовсесян<sup>1\*</sup>, Т. Ю. Магакян<sup>1</sup>, А. В. Моисеев<sup>2</sup>, М. Г. Геворгян<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Бюраканская астрофизическая обсерватория, Бюракан, 0213 Армения

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 20 октября 2014 года; принята в печать 19 февраля 2015 года

С помощью сканирующего интерферометра Фабри–Перо на 6-м телескопе САО РАН изучен ряд объектов Хербига–Аро в северо-восточной области NGC 7129. Выявлен геликоидальный поток в НН 234, состоящий из отдельных высокоскоростных сгустков, распространяющихся внутри полости в межзвездной среде, созданной истечением. НН 235 объединяет не менее пяти сгустков, каждый из которых формирует свой собственный дугообразный ударный фронт. Направление этих фронтов, а также ориентированная в направлении NW–SE высокоскоростная «сердцевина» потока указывают место предположительного источника. Обсуждается также происхождение объектов НН 105 и НН 821. Предположительные источники потоков в данной области, за исключением НН 234 с известным источником, расположены севернее центра скопления в окрестности активной звезды V350 Ser. Можно считать надежно установленным факт фрагментации области звездообразования NGC 7129 на отдельные очаги и наличие здесь многочисленных истечений от звезд различных масс.

Ключевые слова: *объекты Хербига–Аро — межзвёздная среда: кинематика и динамика — звёздообразование — рассеянные скопления и ассоциации: индивидуальные: NGC 7129*

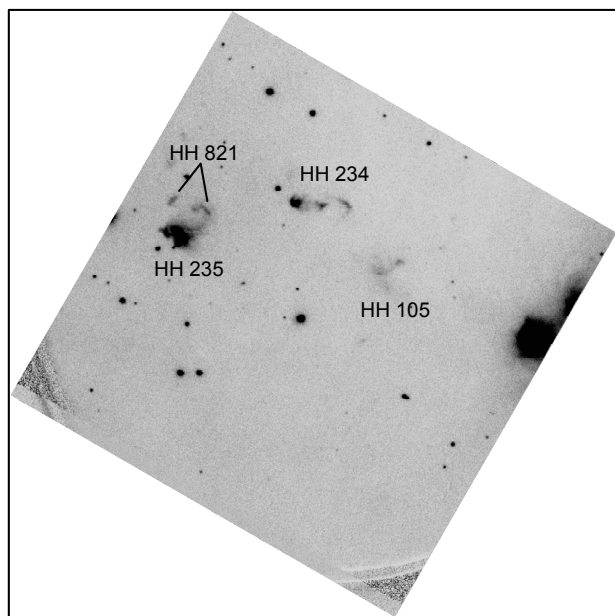
### 1. ВВЕДЕНИЕ

Окутанное отражательной туманностью звездное скопление NGC 7129 расположено в центральной части темного облака L 1183, которое находится на расстоянии более чем 1 кпс [1, 2]. Помимо нескольких молодых В-звезд, это скопление включает PMS-звезды малой массы [3, 4], в том числе исключительно активный объект V350 Ser [5]. В этой области были также найдены объекты Хербига–Аро (НН) (впервые описаны в работах [6–8]; впоследствии был обнаружен еще целый ряд НН-объектов и НН-потоков). Помимо оптических проявлений коллимированных истечений в этой области в линиях СО обнаружены два молекулярных потока, связанных с далекими инфракрасными источниками [9, 10]. Подробный обзор исследований NGC 7129 содержится в работе [11], здесь же мы лишь отметим, что все перечисленные факты указывают на активное звездообразование в этом скоплении.

Анализ лучевых скоростей и других характеристик НН-объектов в области NGC 7129 дает довольно сложную картину и во многих случаях не позволяет однозначно идентифицировать их источники. В частности следует обратить внимание на

то обстоятельство, что в северо-восточном направлении от центра, вдоль оси коллимированного потока, создаваемого Lk H $\alpha$  234, одной из наиболее ярких звезд в скоплении, расположены три ярких (НН 234, НН 235 и НН 105) и ряд более слабых НН-объектов. Однако все они, судя по лучевым скоростям, не связаны с этой звездой. Кроме этого, в красномещенном крыле молекулярного потока, также связанного с центром скопления, зафиксированы области с синемещенной эмиссией, одна из которых расположена севернее НН 105 [12]. Очевидно, источниками этих истечений должны быть молодые звезды, глубоко погруженные в молекулярное облако. Действительно, подобные источники были обнаружены в области NGC 7129 и, за исключением ярких источников FIRS 1 и FIRS 2, в основном расположены к северу, северо-востоку и юго-востоку от центра скопления [13]. Все эти источники расположены в самой плотной части облака, что еще раз указывает на активное звездообразование внутри молекулярного облака, связанного со скоплением. В настоящей работе мы сосредоточимся на изучении группировки НН-объектов в северо-восточной части скопления. В следующих разделах будут приведены результаты исследования кинематики эмиссионных объектов в этой области, полученные в ходе наблюдений со

\*E-mail: tigmov@web.am



**Рис. 1.** Поле, охваченное наблюдениями с эталоном Фабри–Перо в линии  $H\alpha$ . Север вверху, восток слева (как и на всех последующих изображениях). Отмечены объекты Хербига–Аро. Яркая звезда справа —  $Lk\ H\alpha\ 234$ .

сканирующим интерферометром Фабри–Перо на 6-м телескопе САО РАН.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения проводились 28 ноября 2002 г. в первичном фокусе 6-м телескопа САО РАН с помощью сканирующего интерферометра Фабри–Перо, который работал в параллельном пучке многорежимного редуктора светосилы SCORPIO [14]. Детектором служила ПЗС-матрица ТК1024 размером  $1024 \times 1024$  элементов. Наблюдения проводились с биннингом  $2 \times 2$  элемента для уменьшения времени считывания. Таким образом, в каждом канале получались изображения размером  $512 \times 512$  пикселей. Поле зрения составляло  $4'8''$  при масштабе  $0''56$  на элемент. Для выделения области сканирования применялся интерференционный светофильтр с шириной полосы пропускания около  $15 \text{ \AA}$  и центральной длиной волны, соответствующей линии  $H\alpha$ .

Сканирование в линии  $H\alpha$  проводилось пьезоэлектрическим интерферометром Queensgate ET-50, работающим в 501 интерференционном порядке и обеспечивающим спектральное разрешение  $\text{FWHM} = 0.8 \text{ \AA}$  ( $36 \text{ км с}^{-1}$ ) в полосе  $\Delta\lambda = 13 \text{ \AA}$  ( $590 \text{ км с}^{-1}$ ), свободной от перекрытия порядков. Число спектральных каналов составляло 36 при дискретности  $0.36 \text{ \AA}$  ( $16 \text{ км с}^{-1}$ ) на канал.

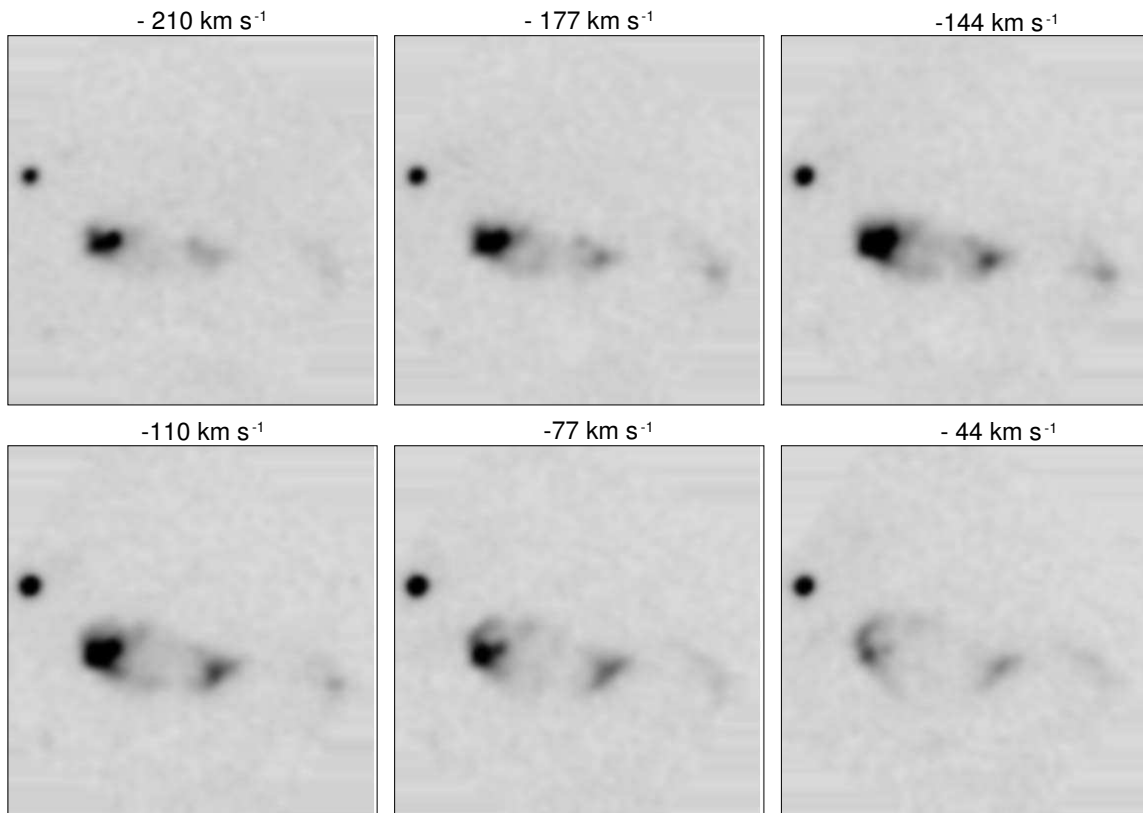
Полученные данные обрабатывались в среде IDL с помощью пакета программ, разработанного в САО РАН [15, 16]. После первичной редукции, включавшей вычитание линий ночного неба и калибровку по длинам волн, наблюдательные данные были представлены в виде трехмерного куба размером  $512 \times 512 \times 36$  элементов.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Как сказано выше, исследуемая в данной работе область расположена северо-восточнее центра скопления NGC 7129 и включает несколько ярких HN-объектов. На рис. 1 представлено изображение наблюдавшейся области, полученное интегрированием по всей ширине эмиссионной линии  $H\alpha$ . Результаты исследования отдельных объектов, отмеченных на рис. 1, приводятся ниже.

### 3.1. HN 234

Как упоминалось выше, этот яркий HN-объект был замечен довольно давно [7, 8] и изучался неоднократно как по прямым изображениям, полученным в различных эмиссионных линиях [17–20], так и спектрально [21–23]. Объект состоит из трех хорошо выраженных сгустков, расположенных примерно по линии запад–восток и погруженных в слабую эллиптическую оболочку. Собранные к настоящему времени данные однозначно указывают, что HN 234 представляет собой независимый, коллимированный поток, распространяющийся в восточном направлении, причем его источник, практически невидимый в оптике, расположен у края западного сгустка (обычно обозначается как сгусток А). В спектре этого сгустка присутствует сильная эмиссия в континууме, представляющая собой излучение глубоко погруженной в облако центральной звезды, рассеянное на стенках конической полости, выдутой в межзвездной среде направленным истечением. Вдоль оси этой отражательной туманности, имеющей характерную кометарную форму, обнаруживается узкий эмиссионный джет. Кроме того, собственное движение яркого восточного сгустка (С) однозначно свидетельствует в пользу того, что источник коллимированного истечения находится в голове кометарной туманности [24]. Любопытно, что источник HN 234 не был обнаружен в ходе обзора IRAS, однако наблюдался в радиодиапазоне на длинах волн 3.6 и 6 см [25]. Наблюдения в ближнем ИК-диапазоне позволили обнаружить эмиссию  $2.12 \text{ мкм}$  в линии  $H_2$  от стенок выдутого конуса и яркое пятно в его апексе. Кроме того, были зафиксированы две слабые конденсации восточнее источника, возможно, соответствующие сгусткам В и С [26].



**Рис. 2.** Поканальные изображения HH 234, соответствующие различным лучевым скоростям с  $\text{FWHM} = 1.6 \text{ \AA}$ . Размер окна соответствует одной угловой минуте. В каждом кадре справа налево: сгустки А, В, С.

Спектральные исследования подтвердили HH-природу HH 234. Лучевые скорости вдоль потока меняются от  $-180$  до  $-240 \text{ km s}^{-1}$  и, как показано в [21], а затем подтверждено в [27], это изменение может быть описано синусоидой, однако для более полного анализа необходимо было получить двумерное поле скоростей.

На полученных нами монохроматических изображениях HH 234 четко выделяются все три ярких сгустка (А, В, С), ранее описанные другими авторами. Как видно на поканальных изображениях, соответствующих различным лучевым скоростям (рис. 2), ширина потока увеличивается с уменьшением лучевой скорости,<sup>1</sup> что является характерной особенностью HH-истечений [28, 29]. Более того, сильно меняется морфология отдельных сгустков. Рассмотрим их кинематические и морфологические особенности отдельно.

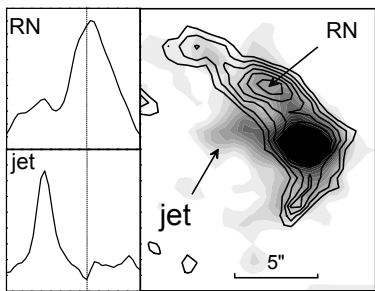
<sup>1</sup>Здесь и далее, говоря о «высоких» и «низких» скоростях, мы будем иметь в виду абсолютные значения скорости без учета знака.

### 3.1.1. HH 234A

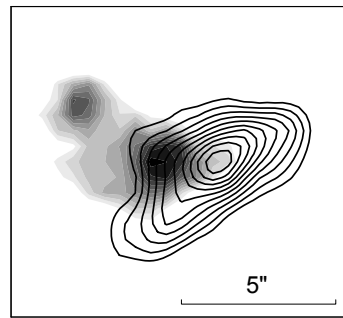
Наши наблюдения подтвердили, что сгусток А представляет собой отражательную кометарную туманность, вдоль оси которой направлен узкий эмиссионный джет, имеющий лучевую скорость около  $-197 \text{ km s}^{-1}$ . При этом на расстоянии около  $5''$  от источника у него наблюдается синусоидальная структура. Удалось получить также профиль эмиссии  $\text{H}\alpha$  в отраженном спектре кометарной туманности, связанной с источником джета (напрямую не наблюдаемым в оптике). Эта эмиссия имеет двугорбый профиль, характерный для молодых звезд типа Т Тельца. На рис. 3 показано изображение этой области, полученное суммированием трех каналов вокруг лучевой скорости, равной  $-190 \text{ km s}^{-1}$ , а также профили эмиссии  $\text{H}\alpha$  в джете и в кометарной туманности, освещаемой источником.

### 3.1.2. HH 234B

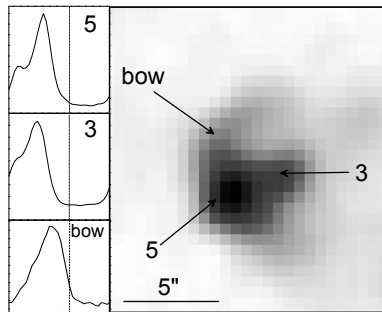
На рис. 2, где приведены поканальные монохроматические изображения потока HH 234, видна сложная кинематическая структура сгустка В. На изображениях, соответствующих высоким лучевым



**Рис. 3.** Изображение сгустка HH 234A (справа), где показано наложение монохроматических изображений, соответствующих лучевым скоростям  $-197 \text{ км с}^{-1}$  (градации серого), и интегрированная в восьми каналах эмиссия в континууме (изолинии). Слева показаны профили эмиссии  $\text{H}\alpha$ , наблюдаемые в отражательной туманности (RN) и в джете (jet). В окнах, где показаны профили, пунктирной вертикальной линией отмечена позиция нулевой лучевой скорости, а весь диапазон соответствует примерно  $600 \text{ км с}^{-1}$ .



**Рис. 4.** Наложение монохроматических изображений сгустка HH 234B, соответствующих лучевым скоростям  $-230$  (градации серого) и  $-115 \text{ км с}^{-1}$  (изолинии).



**Рис. 5.** Монохроматическое изображение сгустка HH 234C (справа) и профили эмиссии  $\text{H}\alpha$ , наблюдаемые в его структурах (окна слева). Общий диапазон окон и линия нулевой скорости — как на рис. 3.

скоростям (около  $-220 \text{ км с}^{-1}$ ), отчетливо видны два компактных сгущения, ориентированные примерно в направлении NE–SW. В то же время на изображении, соответствующем более низкой лучевой скорости (около  $-115 \text{ км с}^{-1}$ ), в основном видна другая, почти прямолинейная и узкая деталь, которая пересекается с линией, соединяющей вышеупомянутые сгущения, практически под прямым углом (рис. 4). В местах, где эти составляющие сгустка В налагаются друг на друга, профили эмиссии  $\text{H}\alpha$  имеют сложный вид, вплоть до расщепления на отдельные компоненты.

### 3.1.3. HH 234C

Наиболее ярким в данном потоке является сгусток С, в котором, судя по всему, происходит наиболее сильное взаимодействие потока с окружающей средой. Он также имеет сложную структуру. Кроме протяженного дугообразного удар-

ного фронта, который наиболее ярко выражен в низкоскоростных каналах, в нем наблюдаются два компактных сгущения, смещенные к югу от апекса этой дуги (сгустки 3 и 5 по номенклатуре [25]). Эти сгустки даже на фоне дугообразного фронта выделяются своей высокой лучевой скоростью. Уже по внешнему виду фронта, крылья которого тянутся в сторону источника, заметно, что его северное крыло ярче на изображениях, соответствующих меньшей лучевой скорости, в то время как южное крыло ярче в высокоскоростных каналах. Лучевые скорости в дугообразном фронте меняются в пределах от  $-100$  до  $-150 \text{ км с}^{-1}$ . На рис. 5 приведены профили эмиссии  $\text{H}\alpha$  для некоторых участков сгустка С. Вблизи апекса дугообразного фронта (участок 5) наблюдается уширение линии ( $\text{FWHM} = 210 \text{ км с}^{-1}$ ), в то время как в крыльях профиль почти в два раза уже ( $\text{FWHM} = 110 \text{ км с}^{-1}$ ). Кроме того, в сгустках 3 и 5, наблюдается расщепление эмиссии на два компонента с разными лучевыми скоростями:  $-305$  и  $-177 \text{ км с}^{-1}$  в сгустке 3 и  $-292$  и  $-150 \text{ км с}^{-1}$  в сгустке 5 соответственно.

### 3.2. HH 235

Объект HH 235 также был обнаружен довольно давно [7, 8], но его происхождение остается непонятным, и образующий его источник пока еще не найден. На прямых изображениях HH 235 выглядит как протяженная дугообразная туманность, включающая в себя компактные уплотнения [20]. Он не может иметь отношения к центральной звезде скопления Lk  $\text{H}\alpha$  234, так как имеет отрицательную лучевую скорость [17, 27, 30], хотя и находится в красном смещенном крыле создаваемого ею СО-истечения. Более того, вектор собственного движения HH 235 направлен примерно к югу, а не от центра скопления [24].

Наши наблюдения подтверждают, что вся группа конденсаций, входящих в НН 235, имеет отрицательные лучевые скорости, меняющиеся от  $-250$  до  $-60$  км с $^{-1}$ . В высокоскоростных каналах НН 235 имеет форму дуги, вершина которой направлена на северо-запад. Однако морфология НН 235 существенно сложнее, чем казалось ранее, и сильно зависит от лучевой скорости. Это видно из поканальных монохроматических изображений (рис. 6). В частности, в работе [20] внутри НН 235 были выделены три сгустка; сейчас же хорошо видно, что НН 235В сам делится на три отдельные конденсации. Таким образом, к сгусткам НН 235 А, В и С [20] мы добавили НН 235 D и Е (см. рис. 6). Очевидно, что спектроскопия НН 235 с длинной щелью не может дать точных данных о лучевой скорости отдельных сгустков. Далее мы рассмотрим составляющие части этого сложного объекта отдельно.

### 3.2.1. НН 235А

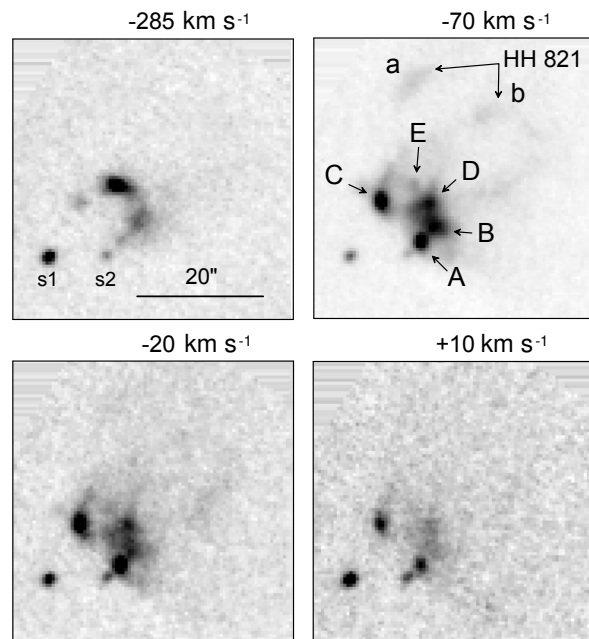
Сгусток НН 235А представляет собой яркий компактный объект на расстоянии около  $3''.5$  к NW от слабой звезды (s2), отмеченной на рис. 6. В работе [20] она обозначена числом «12». Из наших данных видно, что звезда эта является эмиссионной, хотя она раньше не отмечалась как таковая [31]. Эмиссия в НН 235А имеет довольно широкий профиль ( $\text{FWHM} = 160$  км с $^{-1}$ ) с центральной лучевой скоростью около  $-80$  км с $^{-1}$ . На малых лучевых скоростях (около  $-20$  км с $^{-1}$ ) от сгустка тянется слабый хвост в юго-западном направлении (рис. 6).

### 3.2.2. НН 235В

Этот сгусток становится хорошо заметен на монохроматических изображениях (рис. 6), соответствующих лучевой скорости  $-92$  км с $^{-1}$ . По мере дальнейшего уменьшения лучевой скорости он принимает дугообразную форму с апексом, направленным на юго-восток. В яркой части сгустка наблюдается сложный профиль эмиссии  $\text{H}\alpha$  с компонентами, которые имеют лучевые скорости  $-70$  и  $-170$  км с $^{-1}$ .

### 3.2.3. НН 235С

При лучевых скоростях около  $-120$  км с $^{-1}$  этот сгусток имеет почти звездообразную форму. Однако с уменьшением лучевой скорости становятся видны два отростка в северо-западном и юго-западном направлениях, которые хорошо видны на изображении, соответствующем лучевой скорости около  $-20$  км с $^{-1}$  (рис. 6). В результате образуется направленная почти точно на восток дугообразная структура, общая длина которой достигает  $30''$ .



**Рис. 6.** Монохроматические изображения НН 235, соответствующие различным лучевым скоростям, которые (в км с $^{-1}$ ) указаны сверху каждого изображения. В верхнем правом окне показаны сгустки в НН 235 и НН 821.

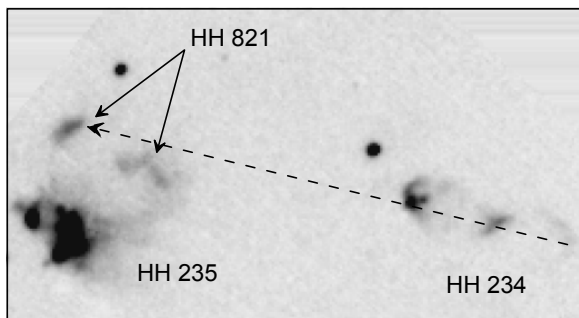
Профиль эмиссии  $\text{H}\alpha$  в центральной, яркой, части сгустка расщеплен на компоненты с лучевыми скоростями  $-130$  и  $-60$  км с $^{-1}$ , в то время как в крыльях дугообразной структуры наблюдается однокомпонентный профиль с лучевой скоростью около  $-60$  км с $^{-1}$ .

### 3.2.4. НН 235D

Этот сгусток представляет собой протяженную эмиссионную структуру в центре НН 235, которая выделяется на фоне НН 235 на лучевых скоростях около  $-100$  км с $^{-1}$ . В центральной, яркой, части сгустка заметно расщепление эмиссии  $\text{H}\alpha$  на компоненты с лучевыми скоростями  $-120$  и  $-80$  км с $^{-1}$ . В низкоскоростных каналах сгусток приобретает вид дуги, апекс которой направлен на юго-восток.

### 3.2.5. НН 235Е

Сгусток Е виден практически только в высокоскоростных каналах (рис. 6) как компактный объект, наложенный на общую эмиссионную структуру НН 235. Он показывает сильно расщепленный профиль  $\text{H}\alpha$  с двумя компонентами, имеющими лучевые скорости  $-260$  и  $-114$  км с $^{-1}$ . Сгусток расположен точно по оси дугообразной структуры, связанной со сгустком А.



**Рис. 7.** Монохроматическое изображение HH 235, HH 234 и HH 821 в канале, соответствующем скорости  $-110 \text{ км с}^{-1}$  (слева); штриховой линией показано направление истечения из HH 234.

### 3.3. HH 821

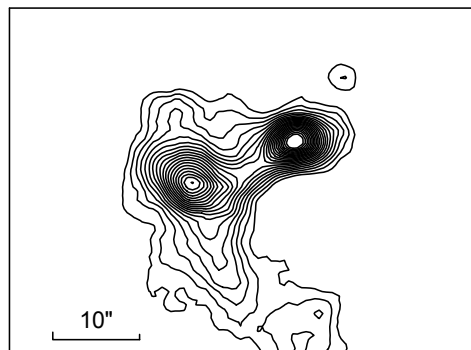
Этот объект был обнаружен относительно недавно при поиске протяженных HH-истечений в известных областях активного звездообразования [32]. Объект находится на расстоянии  $15''$  севернее HH 235 (рис. 7) и состоит из двух отдельных слабых сгущений. Мы обозначили восточное из них как HH 821A, западное, более протяженное, — как HH 821B.

Наши наблюдения подтвердили чисто эмиссионную природу HH 821. Лучевые скорости оказались отрицательными. В сгустке HH 821A лучевая скорость практически не меняется и имеет значение  $-95 \text{ км с}^{-1}$ , в то время как в сгустке HH 821B она меняется от  $-100 \text{ км с}^{-1}$  до  $-130 \text{ км с}^{-1}$ . Таким образом, эти значения того же порядка, что и в близлежащих HH-объектах HH 234 и HH 235. Не исключено, что оба сгустка HH 821 могут на деле являться их частями: HH 821A находится на одной линии с потоком HH 234, и его форма напоминает дугу, обращенную к востоку, а HH 821B соединяется с HH 235 очень слабой туманностью (рис. 7).

### 3.4. HH 105

Этот довольно слабый HH-объект впервые был описан в работе [17]. Источник его возбуждения был неизвестен. Дальнейшие исследования HH 105 с узкополосными светофильтрами показали, что он состоит из двух сгущений, соединенных перемычкой [20]. Наши более ранние наблюдения [27] показали, что лучевая скорость HH 105 мала.

Судя по полученным с интерферометром Фабри–Перо изображениям, морфологию этого протяженного объекта можно представить в виде двух сгустков, соединенных перемычкой, которые наложены на слабый дугообразный фронт. В целом объект



**Рис. 8.** Монохроматическое изображение HH 105 в линии  $H\alpha$ .

обрисовывает дугу с апексом, направленным к юго-востоку (рис. 8). Его вид с изменением лучевой скорости не меняется, а эмиссия  $H\alpha$  по всему объекту имеет одну и ту же скорость около  $-40 \text{ км с}^{-1}$ .

## 4. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Данные, полученные со сканирующим интерферометром Фабри–Перо, позволяют значительно лучше понять внутреннюю структуру истечений и особенности их распространения в межзвездной среде. Рассмотрим вначале HH 234.

Как уже говорилось выше, изучение профиля эмиссии  $H\alpha$  в рассеянном свете отражательной туманности, связанной с источником этого истечения, показало, что звезда-источник является молодой звездой типа Т Тельца, экранированной околосредным тором. Собственно, отражательная туманность как раз и представляет собой освещенные источником стенки этого тора. Вдоль оси тора направлен волнообразный джет, и, таким образом, вся система является еще одним хорошо выраженным примером морфологической и генетической связи источник–диск–коллимированный поток.

Интересны и дальнейшие сгустки этого истечения. Так, в среднем сгустке (HH 234B) наблюдаются две структуры с разными лучевыми скоростями. В частности, выделяются две компактные конденсации с высокой скоростью. По всей видимости, эти сгустки представляют собой дискретные выбросы из источника. Природа второй структуры, представляющей собой протяженный объект, пересекающий ось истечения под углом  $45^\circ$ , вообще не ясна. Однако можно предположить, что здесь наблюдается зона косоугольного удара, где поток наталкивается на плотную газопылевую стенку. Подобные структуры уже были обнаружены в некоторых HH-истечениях [28, 33].

Особый интерес представляет головной сгусток (НН 234С). Здесь не только ось низкоскоростного дугообразного фронта совпадает с осью отражательной туманности в НН 234А, но и оба края дуги тянутся назад настолько, что практически смыкаются с этой туманностью, тем самым, по-видимому, очерчивая полость, выдутую истечением в межзвездной среде. Это делает поток НН 234 в целом весьма схожим с НН 34 [34]. С другой стороны, здесь так же, как и в НН 234В, наблюдаются две высокоскоростные конденсации, положение которых отклоняется от общей осесимметричной картины.

В работе [25] также было обращено внимание на эти структуры, однако они были предположительно отождествлены с так называемым обратным потоком и диском Маха соответственно. Напомним, что диск Маха является зоной, в которой происходит торможение вещества самого джета, и поэтому она имеет значительно большую скорость, чем образующаяся перед ней дугообразная ударная волна [35]. В свете новых данных подобная интерпретация представляется не вполне обоснованной. Обратный поток должен формироваться только в случае непрерывного истечения [35], в то время как в данном случае мы явно имеем дело с дискретными выбросами. С другой стороны, присутствие двух компонент скорости в эмиссии  $\text{Na}$  конденсации 5 уже не позволяет принять ее целиком за диск Маха. Интенсивность излучения высокоскоростной компоненты составляет около 0.3 от менее высокоскоростной, причем пространственно они практически совпадают. Аналогичное расщепление наблюдается и во второй конденсации 3 (рис. 5). Представляется вполне логичным считать обе конденсации отдельными выбросами в потоке НН 234 и отождествить в них высокоскоростную компоненту с диском Маха, а компоненту с меньшей лучевой скоростью — с дугообразным ударным фронтом. Подобная картина наблюдается, например, в джете HL Tau [36]. Из-за немалого расстояния NGC 7129 (около 1 кпс) видимое пространственное разделение дугообразного фронта и диска Маха должно быть незначительным.

Если это предположение верно, то по отношению лучевых скоростей и интенсивностей в двух компонентах эмиссии можно оценить отношение плотности окружающей среды к плотности материи джета [35]. По нашим расчетам это отношение порядка 0.1, то есть джет НН 234 гораздо плотнее окружающей среды. Это, однако, не противоречит обратному выводу, сделанному в [25], поскольку в этой работе сравнивались плотности джета и типичной межзвездной среды. Фактически же поток НН 234 распространяется внутри уже выдутого им «пузыря» малой плотности, передняя стенка которого, вероятно, представляет собой наблюдаемый

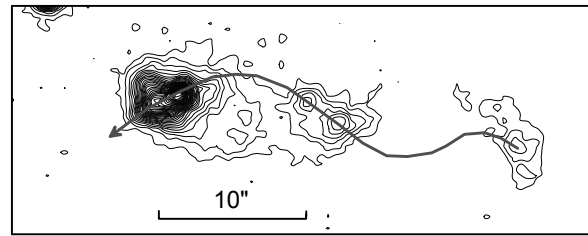


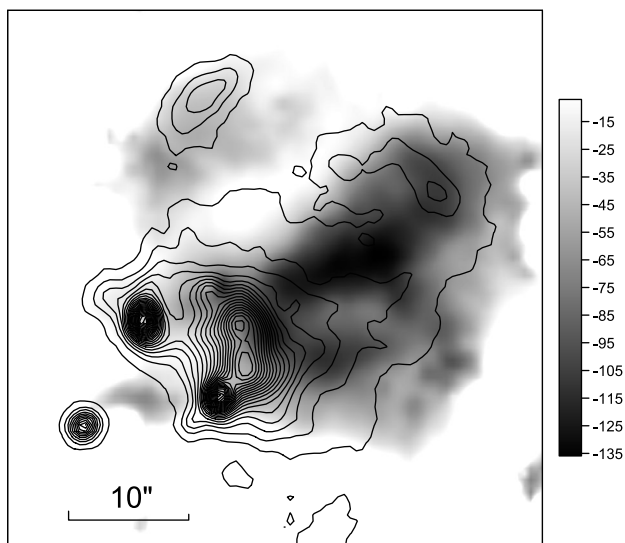
Рис. 9. Монохроматическое изображение НН 234, соответствующее скорости  $-230 \text{ км с}^{-1}$ , и волнообразная кривая, соединяющая высокоскоростные сгустки потока.

впереди сгустка НН 234С дугообразный ударный фронт. Примерно по оси пузыря расположены сгустки, сформированные дискретными выбросами вещества.

Хорошо заметное смещение этих сгустков относительно общей оси можно описать синусоидальной кривой (рис. 9). Схожая волноподобная структура наблюдается и в распределении лучевых скоростей, полученных с длинной щелью [27], так как щель пересекает синусоидальное истечение по прямой линии. По всей видимости, этот эффект связан с прецессией источника истечения и разностью кинематических возрастов. Очевидно, что возраст высокоскоростных структур значительно меньше возраста передней стенки пузыря. По нашим оценкам, кинематический возраст высокоскоростных сгустков в НН 234С составляет около 570 лет при расстоянии до объекта 1 кпс. Впрочем, только точное измерение собственных движений сгустков в НН 234 поможет окончательно прояснить сценарий их формирования.

Выше уже говорилось, что на расстоянии около двух угловых минут восточнее источника НН 234 расположен объект НН 821А, находящийся близко к оси истечения (рис. 7) и, возможно, также входящий в поток НН 234. Если это предположение верно, то кинематический возраст сгустка НН 821А составит около 1900 лет.

Переходя к рассмотрению потока НН 235, можно заключить, что его источник пока остается неидентифицированным, но его примерное местоположение уже более или менее понятно. На рис. 10 показано общее поле лучевых скоростей в областях НН 235 и НН 821В, наложенное на изофоты этих объектов. Отчетливо выделяется высокоскоростная «сердцевина» потока, ориентированная в направлении NW–SE. При этом ее юго-восточное окончание приходится как раз на зону, в которой усиливается яркость НН 235, и проявляются отдельные сгустки этого объекта. Как уже было отмечено выше, практически все эти сгустки имеют форму маленьких дуг,



**Рис. 10.** Поле лучевых скоростей в HH 235 (градации серого) с наложенным изображением в эмиссии  $H\alpha$  (изолинии). Справа показана шкала лучевых скоростей в  $\text{км с}^{-1}$ .

направленных на восток или юго-восток. В то же время весь объект в целом, особенно на высоких лучевых скоростях, напоминает большую подкову, вершина которой обращена к северо-западу. Представляется достаточно логичным заключить, что мы наблюдаем быстро движущийся поток, идущий с северо-западного направления, который наталкивается на препятствие, вероятно, плотное облачко межзвездной среды, и обтекает его. В результате столкновения повышаются уровень возбуждения и светимость вещества потока. Истечение начинает распадаться на отдельные конденсации, каждая из которых формирует свой собственный дугообразный ударный фронт. Общая картина весьма напоминает объект HH 2 [37, 38]. Таким образом, источник HH 235 следует искать, предположительно, севернее центра скопления.

В этом направлении находятся, в частности, ряд ИК-источников из обзора 2MASS, а также IRAS 21216+6556. Там же расположена очень активная молодая звезда V350 Cep [5]. Необходимо напомнить, что вокруг основных сгустков HH 105 также наблюдается дугообразная структура. Это указывает на направление предполагаемого источника. Возможно, оптические проявления красномещенного истечения экранированы темным облаком, а синемещенные HH 235, HH 105 и HH 821 расположены на передней стороне этого облака. Источниками этих потоков являются активные молодые звезды, расположенные севернее ядра скопления, а также источник HH 234.

Перечислим основные выводы, которые можно сделать из всего вышеизложенного:

- Поток HH 234 имеет геликоидальную структуру, вызванную, скорее всего, прецессией источника. Он состоит из отдельных сгустков, сформированных, по-видимому, эпизодическими выбросами из центральной звезды. Кинематический возраст потока может достигать нескольких тысяч лет.
- HH 235 образуется в зоне столкновения высокоскоростного истечения с плотным участком межзвездной среды и состоит по меньшей мере из пяти сгустков, каждый из которых создает перед собой отдельный дугообразный фронт.
- HH 105 является результатом еще одного истечения, имеющего направление, сходное с потоком HH 235.

В заключение можно еще раз подчеркнуть, что в области NGC 7129 можно считать надежно установленным факт фрагментации очага звездообразования и наличия многочисленных истечений от звезд различных масс. Это указывает на большой временной диапазон процесса звездообразования и его активность в настоящее время.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта No. SCS 13-1C208, а также гранта ANSEF astroex-3802. Статья основана на результатах наблюдений на 6-м телескопе САО РАН, работающем при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). АМ благодарит фонд некоммерческих программ «Династия» за финансовую поддержку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. S. Shevchenko and S. D. Yakubov, *Sov. Astron.* **33**, 370 (1989).
2. V. Straizys, M. Maskoliunas, R. P. Boyle, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **438**, 1848 (2014).
3. G. H. Herbig, *Astrophys. J. Suppl.* **4**, 337 (1960).
4. S. E. Strom, F. J. Vrba, and K. M. Strom, *Astron. J.* **81**, 638 (1976).
5. G. Herbig, *Astron. J.* **135**, 637 (2008).
6. S. E. Strom, G. L. Grasdalen, and K. M. Strom, *Astrophys. J.* **191**, 111 (1974).
7. А. Л. Гольбудагян, Т. Ю. Магакян, *Докл. акад. наук АрмССР* **62**, 104 (1977).
8. A. L. Gyulbudaghian, Yu. I. Glushkov, and E. K. Denisyuk, *Astrophys. J.* **224**, 137 (1978).



9. S. Edwards and R. L. Snell, *Astrophys. J.* **270**, 605 (1983).
10. R. Liseau and G. Sandell, *Revista Mexicana Astronom. Astrofis.* **7**, 199 (1983).
11. M. Kun, Z. T. Kiss, and Z. Balog, in *Handbook of Star Forming Regions*, Ed. by B. Reipurth (Astron. Soc. Pacific, San Francisco, 2008), Vol. 1, ASP Monograph Publ. **4**, 136.
12. B. Miskolczi, N. F. H. Tothill, G. F. Mitchell, and H. E. Matthews, *Astrophys. J.* **560**, 841 (2001).
13. J. Muzerolle, S. T. Megeath, R. A. Gutermuth, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **154**, 379 (2004).
14. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 193 (2005).
15. A. V. Moiseev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 74 (2002).
16. A. V. Moiseev and O. V. Egorov, *Astrophysical Bulletin* **63**, 181 (2008).
17. P. Hartigan and C. J. Lada, *Astrophys. J. Suppl.* **59**, 383 (1985).
18. K. M. Strom, S. E. Strom, S. C. Wolff, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **62**, 39 (1985).
19. T. P. Ray, *Astron. and Astrophys.* **171**, 145 (1987).
20. C. Eiroa, A. Gomez de Castro, and L. F. Miranda, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **92**, 721 (1992).
21. A. Gomez de Castro, L. F. Miranda, and C. Eiroa, *Astron. and Astrophys.* **267**, 559 (1993).
22. R. W. Goodrich, *Astron. J.* **92**, 885 (1986).
23. T. A. Movsesyan, *Sov. Astron.* **18**, 303 (1992).
24. T. P. Ray, R. Poetzels, J. Solf, and R. Mundt, *Astrophys. J.* **357**, 45 (1990).
25. A. Gomez de Castro and A. Robles, *Astron. and Astrophys.* **344**, 632 (1999).
26. J. Eislöffel, *Astron. and Astrophys.* **354**, 236 (2000).
27. T. Yu. Magakian and T. A. Movsesian, *Astronomy Reports* **41**, 483 (1997).
28. T. A. Movsessian, T. Yu. Magakian, J. Bally, et al., *Astron. and Astrophys.* **470**, 605 (2007).
29. T. A. Movsessian, T. Yu. Magakian, A. V. Moiseev, and M. D. Smith, *Astron. and Astrophys.* **508**, 773 (2009).
30. T. Yu. Magakyan, *Sov. Astron. Lett.* **9**, 83 (1983).
31. T. Yu. Magakian, T. A. Movsessian, and E. H. Nikogossian, *Astrophysics* **47**, 519 (2004).
32. F. McGroarty, T. P. Ray, and J. Bally, *Astron. and Astrophys.* **415**, 189 (2004).
33. P. Hartigan, A. Frank, J. M. Foster, et al., *Astrophys. J.* **736**, 29 (2011).
34. B. Reipurth, S. Heathcote, J. Morse, et al., *Astron. J.* **123**, 362R (2002).
35. P. Hartigan, *Astrophys. J.* **339**, 987 (1989).
36. T. A. Movsessian, T. Yu. Magakian, and A. V. Moiseev, *Astron. and Astrophys.* **541**, A16 (2012).
37. J. J. Hester, K. R. Stapelfeldt, and P. A. Scowen, *Astron. J.* **116**, 372 (1998).
38. W. R. F. Dent, R. S. Furuya, and C. J. Davis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **339**, 633 (2003).

### Detailed Kinematic Investigation of Herbig–Haro Objects in the Northeast Region of NGC 7129

**T. A. Movsessian, T. Yu. Magakian, A. V. Moiseev, and M. G. Gevorgian**

Using the Fabry–Perot scanning interferometer at the SAO RAS 6-m telescope, we studied a number of Herbig–Haro objects in the northeast region of NGC 7129. We detected a helicoidal flow in HH 234, consisting of separate high-speed knots propagating within the cavity in the interstellar medium created by the outflow. HH 235 consists of at least five knots, each of which form its own bow shock front. The direction of these fronts together with the NW–SE oriented high-velocity core of the flow indicate the location of a possible source. The origin of the objects HH 105 and HH 821 is discussed as well. Possible Herbig–Haro outflow sources in this region are located further north of the cluster center in the vicinity of the active star V350 Cep, except for HH 234 with a known source. It can be considered ascertained that the NGC 7129 region consists of several star-forming cores, in which multiple outflows from stars of different masses are present.

*Keywords: Herbig–Haro objects—ISM: kinematics and dynamics—stars: formation—open clusters and associations: individual: NGC 7129*