

НН 1050: БИПОЛЯРНЫЙ ПОТОК В ОБЛАКЕ L 988

Т.А.МОВСЕСЯН, Т.Ю.МАГАКЯН

Поступила 8 ноября 2013

Принята к печати 19 февраля 2014

Изучен оптический коллимированный поток НН 1050 (L 988a). По наблюдениям на 2.6-м телескопе и данным из каталогов и обзоров, включая архив телескопа "Хаббл", обсуждена его морфология, спектрально подтверждена биполярная природа потока. Особенностью потока НН 1050 является его распространение в широком конусе с углом раскрытия около 30-40° и присутствие в нем как движущихся сгустков, так и обтекаемых потоком облачков. Источником потока является один из компонентов двойной звезды IRAS 21007+4951 (WISE J210222.70+500308.3). Обсуждены также и другие молодые звезды в данной области.

Ключевые слова: *коллимированные истечения; НН-потоки; ИК-источники; PMS-звезды*

1. *Введение.* Темное облако L 988 расположено в созвездии Лебеда, в области ассоциации Суг OB7. Оно входит в комплекс поглощающих туманностей, имеющий обозначения Kh 141 [1] и TGU 541 [2], иногда называемый также как "Северный Угольный Мешок" ("Northern Coalsack"). Наряду с облаками L 977-978 и L 1003, L 988 является одним из самых темных его участков. Расстояние этой группы пылевых облаков четко не определяется, существующие оценки показывают заметный разброс, однако большинство авторов полагают, что данный комплекс расположен перед ассоциацией Суг OB7, на расстоянии около 700 пк (см. [3] и ссылки в этой работе). Само облако L 988 находится, по-видимому, еще ближе, и отстоит на 600 пк [4] или даже меньше [5]. Облако L 1003 оказалось областью активного звездообразования [6]. В облаке L 988 еще ранее был выявлен ряд интересных молодых объектов, включая хорошо известную звезду V1331 Суг (LkH α 120), а также три отражательные туманности DG 169, 170 и 171. Туманность DG 170 включает другой известный эмиссионный объект LkH α 324 [4].

Однако особый интерес облако L 988 привлекло после того, как в нем были найдены четыре молекулярных истечения в линиях CO [7]. Все они оказались связанными с IRAS-источниками и отражательными туманностями. Эти истечения направлены в разные стороны и не выстроены по локальному магнитному полю, что и дало название облаку L 988 - "подушечка для булавок" ("pincushion cloud"). В работе [7] истечения были обозначены как L 988 "a", "c", "e" и "f". Впоследствии эти объекты неоднократно

подвергались более детальным исследованиям, в особенности источник L 988e (IRAS 21023+5002), который совпадает с упомянутой выше туманностью DG 170, включающей целое компактное скопление молодых эмиссионных звезд [4]. Однако поток L 988a, и его возможные источники оставались малоисследованными в оптическом диапазоне, хотя радионаблюдения этого истечения проводились регулярно. Их подробное рассмотрение выходит за пределы целей данной статьи, но стоит отметить, что в начале 90-х гг. около инфракрасного источника IRAS 21007+4951, расположенного примерно в центре потока L 988a, был обнаружен H_2O -мазер [8], однако при последующих наблюдениях 1993-2005 гг. он более не наблюдался.

В области L 988a были отмечены две туманности со следами биполярной структуры [9] и предположительно связанные с ними звезды, обозначенные как S1 и S2. Одна из туманностей, занесенная в каталог [10] как GN 21.00.7, практически совпадает с центром этого молекулярного потока и инфракрасным источником IRAS 21007+4951 [9,11]. Вблизи них были обнаружены яркие эмиссионные сгустки, по всей видимости, объекты Хербига-Аро (HN) [9]. Впоследствии был проведен поиск HN-объектов во всем облаке L 988; результаты лишь недавно стали доступными [12].

В данной работе представлены результаты изучения предполагаемого биполярного потока из L 988a. Наблюдения в узких фильтрах подтвердили HN-природу ранее обнаруженных сгустков и выявили новые. Кроме того, спектроскопия с длинной щелью показала, что цепь HN-сгустков представляет собой биполярное истечение, связанное с центральным источником L988a.

2. Наблюдения. Изображения исследуемой области были получены в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории. Первые наблюдения были проведены 15 октября 1998г. с помощью камеры VуuFOSC-2 [13] в фильтрах I и [SII], а 10 октября 2010г. с помощью камеры SCORPIO [14] в фильтрах I и $H\alpha$. В качестве светоприемного устройства в камере VуuFOSC использовался ПЗС Thomson с форматом 1060×514 элементов и масштабом $0.65''/\text{пикс}$, а в камере SCORPIO - Loral с форматом 2063×2058 элементов и масштабом $0.42''/\text{пикс}$. Для поиска и выявления HN-объектов сравнивались между собой изображения, полученные в узкополосных фильтрах [SII] ($\lambda_c = 6725\text{\AA}$, $\Delta\lambda = 75\text{\AA}$) и $H\alpha$ ($\lambda_c = 6670\text{\AA}$, $\Delta\lambda = 85\text{\AA}$) и широкополосном фильтре I. Суммарное время накопления при изображениях $2''$ в фильтре I составило 600 с, в фильтре $H\alpha$ - 2400 с, а в фильтре [SII] - 1800 с.

29 ноября 1995г. мы получили также несколько щелевых спектров на 6-м телескопе САО РАН при помощи спектрографа UAGS, установленного в первичном фокусе телескопа и оснащенного ПЗС-светоприемником с форматом 530×580 элементов. При наблюдениях использовалась решетка 1300 штрих/мм, которая обеспечивала спектральное разрешение порядка

4Å . Суммарное время накопления составило 1200 с при изображениях 2".5 . Обработка этих данных проводилась с помощью системы MIDAS, разработанной в Европейской южной обсерватории.

Помимо наших наблюдений, мы привлекли ряд данных из обзоров и архивов данных. В частности, обнаружилось, что область вблизи L 988a наблюдалась с камерой WFC на космическом телескопе "Хаббл" 20 августа 2002г. по программе поиска темной материи в Галактике. Использовался широкополосный фильтр с $\lambda_c = 7693\text{Å}$. К сожалению, интересующие нас объекты попали лишь на край поля зрения, в результате чего изображение туманности GN 21.00.7 и ряда HH-сгустков оказалось срезанным. Это изображение, как и данные из обзоров 2MASS и WISE, обсуждаются далее.

3. *Результаты и обсуждение. Биполярный поток HH 1050.* В работе [9] в области туманности GN 21.00.7 были отмечены четыре

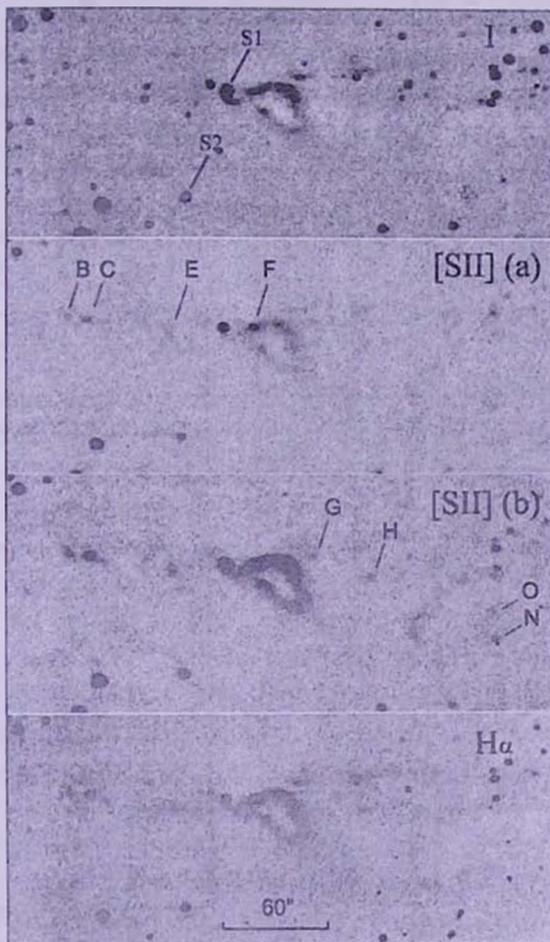


Рис.1. Изображения потока HH 1050 в континууме и в линиях [SII] и H α . Отдельные сгустки обозначены буквами.

сгустка, предположительно являющиеся НН-объектами. С целью поиска других подобных объектов мы сравнили прямые изображения, полученные на 2.6-м телескопе, в фильтрах, соответствующих эмиссиям $H\alpha$, [SII] и в полосе I , представляющей континуум. Результаты приведены на рис.1, причем изображение в линиях [SII] показано с двумя уровнями контраста. Легко заметить, что эмиссионные сгустки к востоку и к западу от центральной туманности резко выделяются на общем фоне. Помимо четырех сгустков, указанных в [9], мы обнаружили еще четыре новых сгустка, продолжающих западную ветвь данного потока.

При сопоставлении с результатами обзора [12] можно видеть, что оптический поток, предположительно связанный с L 988a, в этом обзоре получил номер НН 1050. Сгустки, описанные в настоящей работе, там же получили обозначения В, С, Е, F, G, Н, О, N и помечены на рис.1 соответствующим образом. Их координаты могут быть найдены в работе [12], где были отмечены и другие сгустки (см. ниже).

Для окончательного подтверждения природы этих объектов мы использовали спектральные наблюдения с длинной щелью. Нам удалось получить

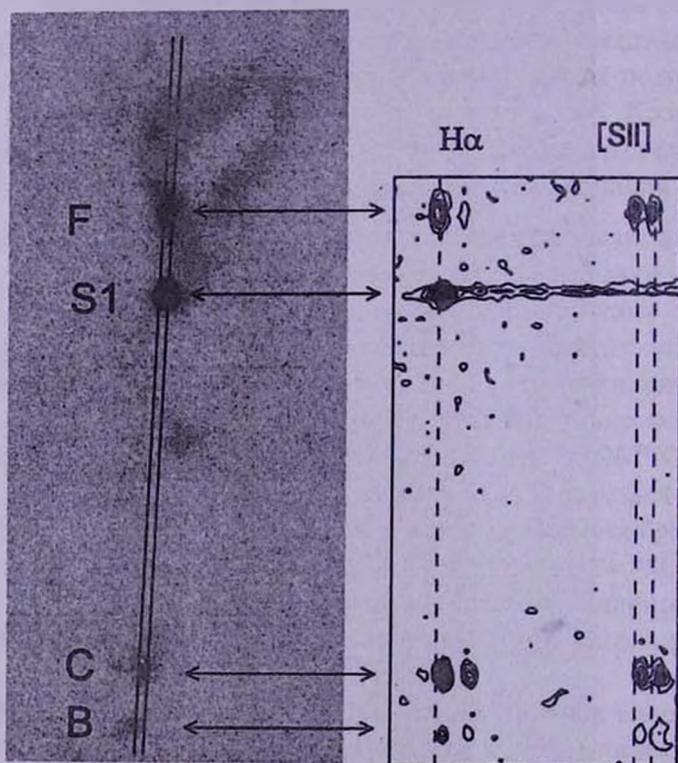


Рис.2. Ориентация щели спектрографа (слева) и эмиссионные спектры сгустков НН 1050 В, С и F (справа). Лабораторные длины волн показаны пунктиром.

спектры сгустков В, С и F. Как видно из рис.2, эти эмиссионные сгустки имеют типичный эмиссионный спектр НН-объектов. Также хорошо заметно, что они представляют собой биполярный поток: лучевые скорости в восточной ветви потока положительны, а в западной - отрицательны (см. табл.1), причем внутри некоторых сгустков наблюдается даже градиент лучевых скоростей. По знаку эти значения находятся в полном согласии с картами западной и восточной долей молекулярного потока L 988a [7]. Тем самым подтверждается прямая взаимосвязь потока НН 1050 с молекулярным истечением. Стоит отметить также "асимметричность" в уровне возбуждении потока: в отличие от восточной ветви, имеющей примерно равную яркость в эмиссиях [SII] и $\text{H}\alpha$, западная его ветвь в $\text{H}\alpha$ намного слабее (рис.1), что можно заметить и по спектрам (рис.2). Подобная разница в возбуждении между выбросом и контр-выбросом встречается не так уж редко. Хорошо известным примером является, например, поток НН 30 [15].

Таблица 1

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СГУСТКАХ ПОТОКА НН 1050

Объект	Гелиоцентрическая лучевая скорость (км/с)			
	$\text{H}\alpha$	$\lambda 6583$ [NII]	$\lambda 6717$ [SII]	$\lambda 6731$ [SII]
НН 1050 F	-124		-114	-130
НН 1050 С	+198	+191	+229	+212
НН 1050 В	+140:		+228	+221

Примечательно, что сгустки В, С и E слабо, но четко заметны на изображениях телескопа "Хаббл" (рис.3а) (к сожалению, все другие сгустки из потока НН 1050 оказались вне заснятой области). Поскольку НН-объекты практически не излучают в континууме, их различимость на этих изображениях, полученных в далекой красной области спектра, должна быть обусловлена какими-либо эмиссионными линиями. Судя по спектрам ряда НН-объектов [16], это может быть линия $\lambda 7686\text{\AA}$ [FeII] (14F). При этом отождествлении мы исходили из того, что линии [FeII] довольно сильны в спектрах ряда НН-джетов и НН-объектов [17]. При сравнении формы сгустков на изображениях "Хаббла" со снимками из [12] (которые сами по себе имеют намного большее разрешение, чем наши изображения), заметно, что все они распадаются на мелкие узелки. Возможно, это связано с условиями возбуждения линий [FeII]. Особенно интересен вид сгустка В, который имеет форму комбинации нескольких четко выраженных и поразительно тонких конических ударных фронтов. По нашей оценке, их толщина на расстоянии 600 пк соответствует примерно 4.5×10^{15} см. Сходные размеры имеют и узелки в сгустке С.

Прочие сгустки в потоке НН 1050, отмеченные в работе [12], либо практически не видны на наших изображениях из-за меньшего предела и разрешения, либо не были отнесены нами к таковым (см. далее).

Еще одной примечательной особенностью потока НН 1050, заслуживающей упоминания, является невысокая степень коллимированности. Хотя его основные яркие сгустки имеют сами по себе небольшие размеры, нетрудно заметить, особенно с учетом результатов работы [12], что в целом обе ветви потока заполняют конические зоны с углом раскрытия порядка $30-35^\circ$ и вершинами близ ИК-источника в центре туманности.

Протяженность каждой из ветвей потока составляет около двух угловых минут, что на расстоянии 600 пк соответствует примерно 0.35 пк, т.е. НН 1050 является довольно протяженным оптическим истечением. Если подтвердится,

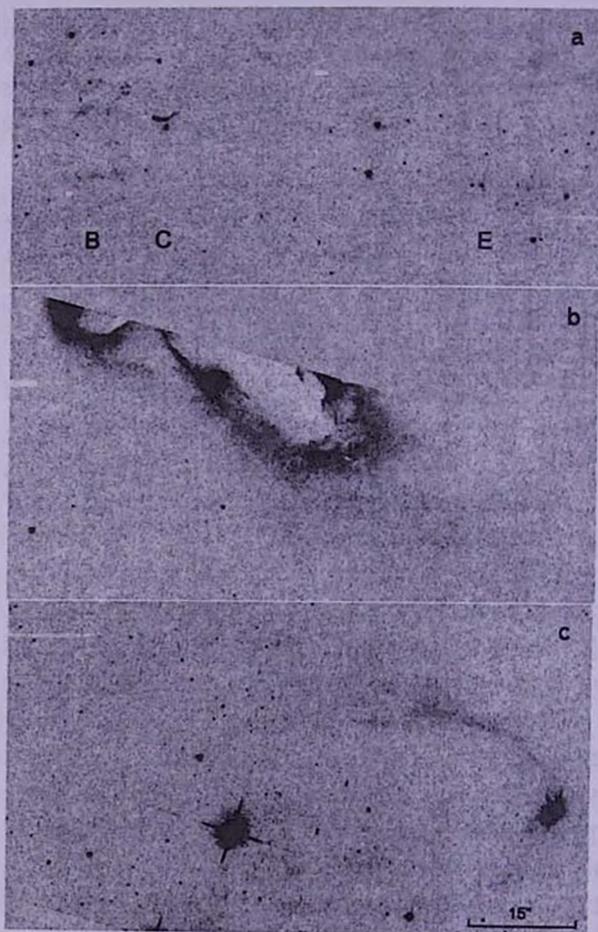


Рис.3. Фрагменты архивного изображения 9480_ba_ACS_WFC телескопа "Хаббл".
 а - сгустки В, С и Е потока НН 1050; б - туманность GN 21.00.7 (часть которой оказалась вне поля зрения); в - туманность, связанная со звездой S2.

что описанные в [12] удаленные НН-объекты НН 1045 и НН 1055 тоже принадлежат к данному потоку, то его общая длина достигнет порядка 3 пк, что даже превосходит размер молекулярного потока (2 пк, согласно [18]).

4. *Другие коллимированные истечения и отражательные туманности в области.* При тщательном рассмотрении изучаемой нами области хорошо заметны три особо плотных сгущения внутри темного облака (см. рис.1). Весьма примечательно, что все они связаны также со слабыми светлыми туманностями. Наиболее интересна из них уже упомянутая выше туманность с биполярной структурой GN 21.00.7.

В эту туманность погружен НН-сгусток НН 1050F, сама же туманность имеет сходную яркость во всех фильтрах, что подтверждает ее отражательную природу. Ее ось практически совпадает с направлением истечения. Это однозначно свидетельствует, что освещающий ее объект является одновременно и источником биполярного потока. Интересной морфологической особенностью туманности GN 21.00.7 является ее "петлеобразная" форма. Внутренний край этой "петли" намного более резкий, чем волокнистый и размытый внешний, что особенно хорошо заметно на изображениях WFC, к сожалению, неполных (рис.3b). Подобная морфология может быть вызвана как неоднородностью поглощения в пылевом облаке, в которое погружена данная туманность, так и особенностями объекта, что представляется нам более реалистичным объяснением. Очень вероятно, что в виде "петли" мы наблюдаем основание наклоненного в нашу сторону (что соответствует отрицательным лучевым скоростям в западной части потока) полого светящегося конуса. Резкий внутренний край может быть сформирован под воздействием направленного истечения, подобно тому, как это наблюдается в туманности, связанной с источником потока НН 83 [17]. Стоит упомянуть, что туманности сходной петлеобразной или кольцеобразной формы часто встречаются вблизи звезд типа FU Ori, на что было впервые указано в работе [19]. В ИК-диапазоне на 2.1-2.2 мкм (полосы K, K') видна только северная ветвь туманной петли, причем изображения, полученные на одном и том же телескопе, но с разницей около 10 лет [11,20], практически не отличаются.

С другой стороны, обратим внимание на расположенные дальше к западу от GN 21.00.7 отдельные светлые туманные детали, хорошо заметные в I и H α на рис.1. В целом эти волокна и участки диффузного свечения выглядят как слабое продолжение конуса туманности GN 21.00.7 вплоть до второго темного сгущения. Именно в пределах этого конуса и разбросаны отдельные сгустки потока НН 1050. В частности, конденсации O и N погружены в облачко с большим поглощением, восточный край которого, обращенный к GN 21.00.7, имеет повышенную яркость в линиях [SII] (см. рис.1) и, следовательно, подвержен ударному возбуждению со стороны вещества, истекающего из центрального объекта. Эта зона повышенной эмиссии (разбитая

в [12] на объекты НН 1050 J, K и L) прямо указывает на большой телесный угол, в пределах которого распространяется направленное истечение.

Третий участок повышенного поглощения расположен на юго-восток от GN 21.00.7. Находящаяся в нем звезда (S2 на рис.1) подсвечивает слабую дугообразную отражательную туманность, ориентированную, как и GN 21.00.7, в направлении восток-запад и впервые упомянутую в работе [9]. Однако, в отличие от характерной формы GN 21.00.7, создается впечатление, что в данном случае мы наблюдаем лишь освещенный край пылевого облака. На изображениях, полученных с WFC (рис.3с), видно, что звезда также окружена очень компактной (порядка $2''.2$) и яркой пылевой оболочкой неправильной формы. В работе [12] обнаружены признаки коллимированного истечения из центральной звезды этого объекта (поток НН 1048), но все сгустки данного потока очень слабы и находятся близко к пределу обнаружения на наших изображениях. В отличие от НН 1050, ни один из них не виден также и на изображениях WFC.

Отметим в заключение, что в [12] был обнаружен джет и направленный поток также и из звезды S1, ориентированный на северо-восток (НН 1051). Все его компоненты исключительно слабы и находятся за пределами возможностей обнаружения на 2.6-м телескопе.

5. Источники. Еще в работе [9] звезды S1 и S2 были указаны как вероятные центральные источники для двух туманностей в области L 988a. Там же отмечалось, что звезда S1 смещена на 10 угл. с к востоку от координат ИК-источника IRAS 21007+4951 и не имеет, вероятно, к нему прямого отношения.

Нет никаких сомнений в том, что дугообразную туманность к юго-востоку от GN 21.00.7 освещает именно звезда S2, и она же является источником потока НН 1048. Полученный нами спектр этой звезды показывает присутствие эмиссии Na умеренной интенсивности, что, наряду с другими свойствами, позволяет отнести ее к классу YSO.

Что касается звезды S1 (WISE J210223.85+500306.8, "eastern star" в [12]), то она, как указано выше, создает отдельный поток НН 1051, а поэтому не может быть центральным источником биполярного потока НН 1050 и туманности GN 21.00.7 (которые, несомненно, генетически связаны). Однако S1, несомненно, также является молодым объектом, поскольку в ее спектре присутствуют довольно сильная эмиссионная линия Na с асимметричным профилем и слабые эмиссии Fe II.

Вообще говоря, при высоком разрешении морфология туманности GN 21.00.7 напоминает даже двойную петлю или восьмерку (имея некоторое сходство, например, с туманностью около LkHa^m233), причем в центре симметрии этой биполярной структуры находится источник IRAS 21007+4951, невидимый в оптике.

Изображения, полученные в инфракрасном диапазоне, позволяют прояснить ситуацию. При сопоставлении *JHK*-изображений обзора 2MASS, а также снимка из работы [11], мы видим, что уже в фильтре *H* на месте IRAS 21007+4951 появляется размытое пятно, а в полосе *K* этот источник становится четко заметным звездообразным объектом. Этот объект в работе [12] обозначен как "western star" (он же WISE J210222.70+500308.3). Его положение менее, чем на 3", отличается от каталожных координат объекта IRAS 21007+4951. Необходимо упомянуть, что в полосе *K* ощутимо возрастает также и яркость звезд *S1* и *S2*.

Данные из обзора WISE позволяют продвинуться в более длинноволновый диапазон, и тогда обнаруживается, что уже на 3.4 мкм яркость *S1* и WISE J210222.70+500308.3 становится сопоставимой, а на 4.6 мкм последний превосходит по блеску все другие источники в области диаметром 6'. Наконец, уже на 12 мкм доминирующими источниками становятся WISE J210222.70+500308.3 и звезда *S2*. Последнее неудивительно, учитывая наличие очень плотной и компактной пылевой туманности вокруг этой

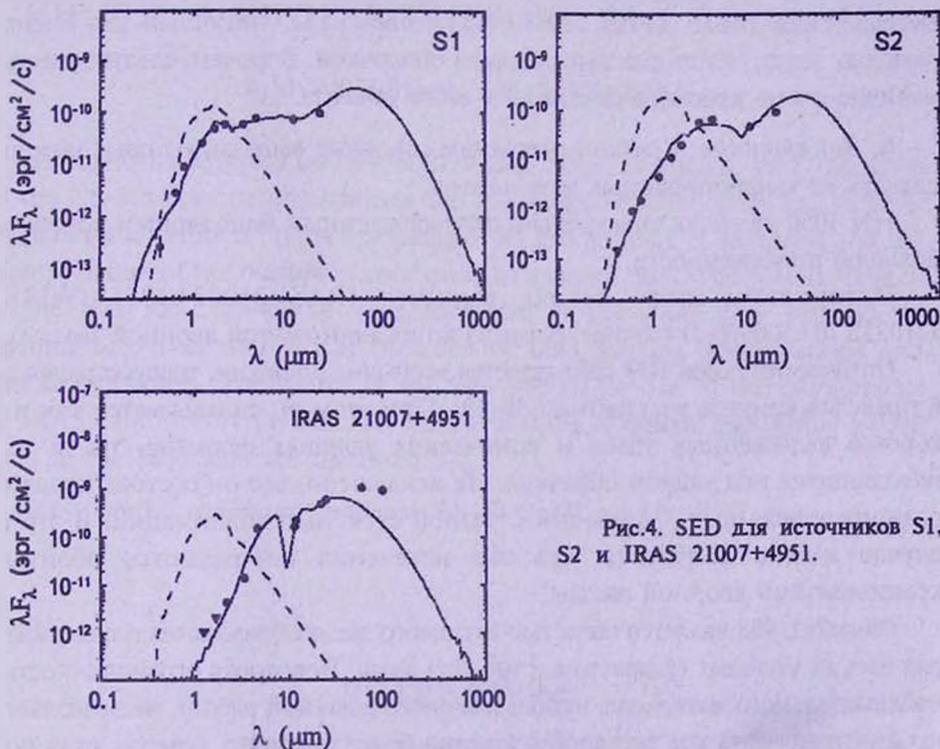


Рис.4. SED для источников *S1*, *S2* и IRAS 21007+4951.

звезды (см. выше). С другой стороны, есть все основания отождествить WISE J210222.70+500308.3 с IRAS 21007+4951 (возможный вклад звезды *S1* в излучение источника IRAS 21007+4951 в далеком ИК-диапазоне, допускаемый в [12], вряд ли может быть значительным).

Дополнительные результаты ИК-фотометрии объектов S1 и IRAS 21007+4951 содержатся в обзоре кратных молодых звезд, погруженных в темные облака [21], где также показано изображение обеих звезд в полосе L' при высоком разрешении. Расстояние между ними составляет около 11", что не позволило посчитать их физической системой [21]. Однако последующие наблюдения с адаптивной оптикой выявили, что звезда IRAS 21007+4951 сама по себе является тесной двойной с расстоянием между компонентами всего 0".17, причем спутник является еще более красным объектом ($K-L' = 7.78$) [22].

В заключение мы представляем спектральные распределения энергии (SED) для всех трех объектов, рассмотренных в данном разделе (рис.4). Они построены с помощью системы моделей, разработанной в [23]. Используются фотометрические оценки из каталогов USNO-B1, 2MASS, WISE, IRAS, а также из работы [21]. Как видно, звезды S1 и S2 имеют сходные SED, соответствующие объектам позднего спектрального класса, с заметным влиянием околозвездных пылевых дисков. Это вполне согласуется с их оптическими спектрами и указывает, что обе звезды относятся к классическим звездам типа T Tau. IRAS 21007+4951 имеет SED, типичный для очень молодых звезд, окутанных выпадающей оболочкой. Впрочем, следует учесть наличие очень красного спутника у этого объекта.

6. *Заключение.* Кратко перечислим основные выводы, которые можно сделать из вышеописанных результатов.

НН 1050 является спектрально подтвержденным биполярным потоком большой протяженности.

Источником этого потока является IRAS 21007+4951 (WISE J210222.70+500308.3) (точнее, один из компонентов этой двойной звезды).

Оптический поток НН 1050 является необычно широким, распространяясь в пределах конусов раскрытием 30-40°. При этом он складывается как из хорошо выраженных узлов и конических ударных фронтов, так и из находящихся под ударом облачков. Не исключено, что он состоит из двух разнонаправленных истечений с разной степенью коллимации. В этом случае можно допустить, что эти истечения порождаются обоими компонентами двойной звезды.

Облако L 988 является областью активного звездообразования и содержит ряд весьма молодых (возрастом $\leq 10^5$ лет) звезд. Некоторая ограниченность наблюдательного материала, использованного в данной работе, не позволяет проанализировать ход звездообразования более детально, однако, судя по данным из [12], как раз участок облака вокруг L 988a содержит, по крайней мере, три направленных истечения.

Данная работа была частично поддержана грантом ANSEF astroex-3124 и грантом ГКН РА 13-1С208. Авторы признательны А.Н.Буренкову за

помощь при наблюдениях на 6-м телескопе CAO РАН. Обзор 2MASS является совместным проектом университета Массачусетса и Калифорнийского технологического института. Космический телескоп WISE является совместным проектом университета Калифорнии в Лос-Анджелесе и Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института. Использованы также наблюдения телескопа "Хаббл" из архива данных в STScI (Space Telescope Science Institute). В данной работе активно использовался виртуальный атлас неба ALADIN, разработанный в Центре звездных данных, Страсбург.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: tigmov@web.am tigmag@sci.am

HH 1050: A BIPOLAR OUTFLOW IN L 988 CLOUD

T.A.MOVSESSIAN, T.Yu.MAGAKIAN

An optical collimated outflow HH 1050 (L 988a) is studied. With the usage of the 2.6-m telescope observations and the data from catalogues and surveys, including the "Hubble" telescope archive, its morphology is discussed and the bipolar nature of the outflow is confirmed by spectral data. The specific feature of the HH 1050 outflow is its propagation in the wide cone with 30-40° opening angle, as well as the presence of both moving condensations and shocked cloudlets. The source of the flow should be one of the components of IRAS 21007+4951 (WISE J210222.70+500308.3) double star. Other young stars in the field also are discussed.

Key words: collimated outflows: HH-flows: IR sources: PMS stars

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Ш.Хавтаси, Атлас галактических темных туманностей, Тбилиси, 1960
2. K.Dobashi, H.Uehara, R.Kandori et al., PASJ, 57, S1, 2005.
3. B.Reipurth, N.Schneider, in Handbook of Star Forming Regions, ASP, 1, 36, 2008.
4. G.H.Herbig, S.E.Dahm, Astron. J., 131, 1530, 2006.
5. J.Alves, C.J.Lada, E.A.Lada, S.J.Kenyon, R.Phelps, Astrophys. J., 506, 292, 1998.

6. *T.Yu.Magakian, E.H.Nikogossian, C.Aspin et al.*, *Astron. J.*, 139, 969, 2010
7. *F.O.Clark*, *A&Ap*, 164, L19, 1986.
8. *M.Felli, F.Palagi, G.Tofani*, *A&Ap*, 255, 293, 1992.
9. *H.J.Staude, H.Elsässer*, *A&Ap Rev.*, 5, 167, 1993.
10. *T.Neckel, H.Vehrenberg*, *Atlas of Galactic Nebulae, Vol I-III (Treugesell Verlag, Düsseldorf)*, 1985, 1987, 1990.
11. *K.-W.Hodapp*, *Astrophys. J. Suppl.*, 94, 615, 1994.
12. *J.Walawender, B.Reipurth, J.Bally*, *Astron. J.*, 146, 66, 2013.
13. *T.Movsessian, J.Boulestex, J.-L.Gash, S.Zaratsian*, *Baltic Astron.*, 9, 652, 2000.
14. *V.L.Afanasiev, A.V.Moiseev*, *Astron. Lett.*, 31, 194, 2005.
15. *R.Mundt, T.P.Ray, A.C.Raga*, *A&Ap*, 252, 740., 1991
16. *K.H.Bohm, J.Solf*, *Astrophys. J.*, 348, 297, 1990.
17. *B.Reipurth, K.C.Yu, S.Heathcote, J.Bally, L.F.Rodriguez*, *Astron. J.*, 120, 1449, 2000.
18. *U.Y.Wu, Y.Wei, M.Zhao et al.*, *A&Ap*, 426, 503, 2004.
19. *R.W.Goodrich*, *Publ. Astron. Sos. Pacif.*, 98, 116, 1987.
20. *M.S.Connelley, B.Reipurth, A.T.Tokunaga*, *Astron. J.*, 133, 1528, 2007.
21. *M.S.Connelley, B.Reipurth, A.T.Tokunaga*, *Astron. J.*, 135, 2496, 2008.
22. *M.S.Connelley, B.Reipurth, A.T.Tokunaga*, *Astron. J.*, 138, 1193, 2008.
23. *T.P.Robitaille, B.A.Whitney, R.Indebetouw, K.Wood*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 169, 328, 2007.