

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 5

МАЙ, 1969

ВЫПУСК 2

## СПЕКТРЫ ЗВЕЗД В КОМЕТООБРАЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

Э. А. ДИБАЙ

Поступила 16 декабря 1968

Излагаются наблюдения спектров звезд в кометообразных туманностях, выполненные с помощью 125 см рефлектора в 1964—68 гг. Дается качественное описание спектров, отмечены случаи переменности линий. Изучены профили эмиссионных линий в спектрах восьми звезд. Движения в оболочках носят сложный характер (расширение, вращение) и, по-видимому, связаны с динамикой окружающих туманностей. Анализируется с помощью фотоэлектрических наблюдений положение звезд, связанных с кометообразными туманностями, на диаграмме Хердшпрунга—Рессела. Показано, что ряд объектов не лежит на главной последовательности. В целом объекты в кометообразных туманностях являются нестационарными, что, по-видимому, вызвано их молодостью.

Со времени известной работы А. Джоя [1], показавшего необычность спектров звезд, расположенных в темных туманностях, интерес к этим объектам неуклонно возрастает. Спектральные наблюдения В. Струве [2], Дж. Хербига [3], М. Уокера [4] и Л. Кухи [5] показывают сложность процессов, протекающих в этих звездах, как правило, неправильных переменных. Все это, а также ряд независимых аргументов, полученных в последние годы, привело к представлениям о том, что рассматриваемые звезды находятся в стадии формирования и в отдельных случаях, по-видимому, еще не достигли равновесной стадии. На связь таких звезд с кометообразными туманностями, выделяющимися на небе своими характерными очертаниями, было указано В. А. Амбарцумяном [6]. Согласно [6] „...наличие у звезды придатка в виде кометообразной туманности следует считать одной из особенностей наиболее ранней стадии в жизни звезды“.

Спектры звезд в кометообразных туманностях исследовались автором в 1964—68 гг. с помощью 125 см рефлектора Крымской стан-

ции ГАИШ. Программа наблюдений звезд, связанных с кометообразными туманностями или глобулами, была составлена согласно Г. А. Шайну и В. Ф. Газе [7], В. Г. Фесенкову и Д. А. Рожковскому [8], Дж. Хербигу [9], В. А. Амбарцумяну [6] и Э. С. Парсямян [10]. Использовался дифракционный спектрограф в касегреновском фокусе, с менисковой камерой системы Г. М. Попова и В. И. Проника [11], с дисперсиями 140, 300 и 120 Å/мм. Ряд спектров получен совместно с В. Ф. Есиповым на спектрографе с электронно-оптическим преобразователем, с дисперсиями 250, 64 и 25 Å/мм. Все спектры получались на пленке А-600, предварительно подсвеченной с целью повышения чувствительности. За четыре года получено свыше ста спектрограмм для двадцати звезд. Фотографировались также звезды АО с известным распределением энергии в спектре [12, 13].

Данные о наблюдательном материале приведены в приложении I. Мы опишем далее основные особенности спектров изученных звезд. При этом будут также использованы результаты фотозлектрических оценок отдельных звезд [14].

*ВД + 8° 933, туманность Барнард 233.* Довольно яркая звезда примерно 8 величины, связанная с интересной туманностью, имеющей совершенно различную форму в разных лучах. Фотографии в Н, показывают более или менее однородное распределение светящейся материи, тогда как в фотографической области спектра туманность резко асимметрична и имеет форму конуса со звездой ВД + 8° 933 в вершине. Мы располагаем двумя спектрограммами, полученными в 1962 г. на 50 см менисковом телескопе с объективной призмой, с дисперсией 200 Å/мм, дающими спектр В2 без каких-либо особенностей. По-видимому, звезда также не является переменной.

*ВД + 30° 549, туманность NGC 1333.* Две спектрограммы, полученные в сентябре 1967 г., указывают на спектральный класс В8 без каких-либо особенностей, что согласуется с определением М. В. Долидзе [15].

*Анонимная в Андромеде (около ВМ And).* Эта звезда включена в список объектов в кометообразных туманностях В. А. Амбарцумяном [6]. Спектр содержит линии поглощения водорода и гелия, что приводит к спектральному типу В8. Звезда находится в прозрачной области неба, поглощение света невелико.

*Парсямян 1.* Звезда 11 величины, связана с несимметричной туманностью в виде конуса. Спектр В2 по линиям водорода, гелия и

1.4629. Визуальное поглощение 1.62 величины. Эта звезда, как и три предыдущие, не имеет особенностей в спектре; по-видимому, все они являются обычными звездами главной последовательности. Однако вопрос о переменности блеска этих звезд неясен.

*Парсамян 21.* Мы располагаем пятью спектрами с электронно-оптическим преобразователем, с дисперсией 250 Å/мм. Видны в поглощении  $H_\beta$  и  $H_\gamma$ ;  $H_\alpha$ , по-видимому, обнаруживает слабую эмиссию. Как звезда (по спектру), так и туманность очень похожи на Лик  $H$ , 233. Спектральный тип примерно A5e2, фотографическая величина 13.5.

*Лик  $H$ , 233.* Эта звезда связана с очень интересной X-образной туманностью [9]. Наши данные подтверждают результаты Дж. Хербига [9]. Спектральный тип A7e2, визуальное поглощение—две величины.

*НК Ориона.* Наши данные не показывают каких-либо изменений в спектре за период 1964—68 гг. Видна  $H_\beta$  в эмиссии и высшие члены серии Бальмера в поглощении. Спектральный класс, как и в [9], ранний Ae.

*Лик  $H$ , 215, туманность NGC 2245.* Три спектрограммы с дисперсией 120 Å/мм содержат эмиссии водорода ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ) и линии поглощения высших членов бальмеровской серии и гелия, что приводит к спектральному типу—позднему В. Наши UVB наблюдения, если их продолжить до пересечения с главной последовательностью на диаграмме Герцшпрунга-Рессела, пользуясь линиями нарастающего поглощения, приводят к спектральному типу В9е. В этом случае визуальное поглощение составляет 2.15 величины.

*Лик  $H$ , 208.* Звезда связана с интересной биконической туманностью, открытой Э. Хабблом. Переменность звезды обнаружена фотометрически Г. В. Зайцевой на Крымской станции ГАИШ, с амплитудой 0.2 величины в фильтре V и типом RW Возничего. На наших спектрах, в согласии с [9], видна водородная серия ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  в эмиссии и далее в поглощении), линии поглощения гелия и слабые эмиссии Fe II в зеленой части спектра. По линиям поглощения спектральный тип около В5, однако по UVB наблюдениям—примерно A0. Дж. Хербиг [9] также отмечает наличие линии поглощения К ионизованного кальция, противоречащее спектру В. По-видимому, мы имеем дело с оболочкой, накладывающейся на спектр звезды.



*ВД + 40° 4124.* В спектре этой звезды эмиссионные линии водорода имеют наибольшую интенсивность среди всех изученных объектов. В согласии с [9] наблюдаются эмиссии водорода  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  и  $H_\gamma$ ; высшие члены серии Бальмера в поглощении. Заметны также линии поглощения гелия. Мы наблюдаем также эмиссии Fe II, не отмеченные в [9]. По-видимому, спектр является переменным. Спектральный класс по линиям водорода и гелия B2e [9], однако по UBV он O9,5e как у нас, так и у Дж. Хербига. В этом случае поглощение в визуальной области спектра достигает 3.3 величины.

*Р Единорога, туманность NGC 2261.* Спектры звезды и туманности изучались автором в 1964–65 гг. [16]. Дополнительно был получен ряд спектров в последующее время. Спектры звезды подобны спектру туманности. Фотоэлектрические наблюдения с 125 см рефлектором (Г. В. Зайцева и автор, не опубликовано) указывают на „посинение“ туманности по мере удаления от звезды, что также является типичным для отражательных туманностей.

В 1948 г. Дж. Гринстейн [17] отметил, что в спектре туманности по сравнению со спектром звезды усилены линии поглощения высших членов бальмеровской серии. Этот же эффект замечен на наших негативах 1964 г. Дж. Гринстейн предполагал наличие в туманности некоторого поглощающего агента, однако сознавал трудности с источником возбуждения бальмеровских линий. Однако в 1966 г. автор [16] и в 1968 г. Дж. Хербиг [18] отметили, что возможно альтернативное решение, заключающееся в том, что мы наблюдаем изменения в спектре звезды с „разверткой по времени“ на фоне отражательной несимметричной туманности. Характерный размер туманности порядка нескольких световых месяцев, факт же регулярного усиления и ослабления водородных линий поглощения в спектре звезды отмечался ранее многими наблюдателями.

В настоящее время факты, по-видимому, свидетельствуют в пользу второй возможности. Начиная с 1965 г. линии поглощения постепенно уменьшали свою интенсивность и в настоящее время практически не видны на фоне туманности (негатив 501). Любопытно, что с 1964 по 1968 гг. фотоэлектрическая величина звезды изменилась не более, чем на 0.1. Другими словами, вклад эмиссий в общее излучение невелик.

Спектральный класс, определяемый формально по линиям поглощения, для *Р Единорога*—Ae, однако, он целиком, вместе с линиями поглощения, определяется излучением газовой оболочки. По-видимому, можно также утверждать, что *Р Единорога* не лежит на главной последовательности.

*V380 Ориона, туманность NGC 1999.* По многочисленности и яркости эмиссионных линий эта звезда напоминает R Единорога. Определение спектрального класса противоречиво. Согласно [9], абсорбционные крылья водородных линий приводят к типу B8—A2; линия кальция K также имеет абсорбционный компонент, что приводит к типу A2—A2. На наших спектрах видны линии поглощения гелия, что дает спектральный класс B8. Однако все эти оценки находятся в противоречии с UVV наблюдениями, дающими, при экстраполяции до главной последовательности, существенно более ранний спектральный класс. По-видимому, как и R Единорога, V380 Ориона нельзя считать звездой главной последовательности.

*MWC 1080.* Это звезда того же семейства, что и две предыдущие. Ее спектр соответствует описанию Дж. Хербига [9]. Он содержит яркие эмиссии  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  [01] 6300 (эта линия в [9] не отмечена) и Fe II. Водородные линии, начиная с  $H_\gamma$ , в поглощении, видны также абсорбционные линии H и K ионизованного кальция. Спектральный класс по линиям поглощения поздний B—ранний A, однако с этим определением не согласуются фотозлектрические наблюдения. По-видимому, и в этом случае излучение звезды определяется в основном газовой оболочкой. Если считать MWC1080 звездой главной последовательности, то поглощение света достигает рекордной величины 4.30. Однако, как и для R Единорога и V380 Ориона, вопрос о принадлежности MWC1080 к главной последовательности неясен.

MWC1080 замыкает собой список звезд Ae и Be; теперь мы обратимся к звездам-карликам типов F—G.

*Парсамян 23.* Три спектрограммы с дисперсией 300 Å/мм содержат линии поглощения металлов, соответствующих типу G8. Однако цвет звезды более красный, вероятно из-за поглощения света в плотной глобуле. Фотографическая величина 12.0.

*Анон IC 1396.* Для этой звезды, расположенной в центре заметной глобулы на западной стороне известной туманности IC 1396 в Цефее, в литературе нет данных. Согласно частному сообщению Дж. Хербига, в фотографической области спектра по линиям поглощения F6—F8, и нет никаких эмиссий (1964 г). По нашим данным спектр в синей области согласуется с данными Дж. Хербига, однако дополнительно наблюдается яркая эмиссионная линия  $H_\alpha$  [19]. Цвет звезды очень красный, поглощение света в визуальной области 3.9 величины.

*RY Тельца.* Мы располагаем пятью спектрами этой известной переменной звезды. Спектральный класс по линиям поглощения dG0e. Заметно изменение в 1964—68 гг. интенсивностей ярких линий H, Ca II, [S II] и возможно [OI] 6300, ослабевших к 1968 г. Наблюдаются также слабые эмиссии Fe II, не отмеченные ни А. Джоем [1], ни Дж. Хербигом [9]. Последнее обстоятельство делает RY Тельца еще более похожей на T Тельца.

*T Тельца.* Эта знаменитая звезда хорошо известна своей оптической и спектральной переменностью. Наши негативы показывают, в согласии с ранними наблюдениями, яркие эмиссии водорода, ионизованного кальция и многочисленные слабые линии Fe II и металлов. Наблюдается также яркая линия [OI] 6300, не отмеченная А. Джоем [1]. В 1967 г. по сравнению с 1964 г. интенсивности эмиссий заметно уменьшились. Эквивалентные ширины линий H<sub>β</sub>, H<sub>γ</sub>, Ca II и [OI] уменьшились примерно в три раза. Укажем на изменение эквивалентной ширины линии H<sub>β</sub> со временем:

| январь 1965 | февраль 1966 | ноябрь 1967 |
|-------------|--------------|-------------|
| 15 Å        | 7.5 Å        | 5 Å         |

Любопытно, что при этом эквивалентные ширины эмиссий Fe II, по-видимому, не изменились. Создается впечатление, что мы наблюдаем некоторый элемент газа, лишенный источников возбуждения (скажем, выброшенный из звезды) и постепенно остывающий при высвечивании.

Спектральный класс T Тельца, согласно [1], dG5e, однако по нашим UBV наблюдениям он ближе к dK0e. Отметим, что Дж. Хербиг (см. [5]) по спектрам с большой дисперсией дает класс dK1e.

*Z Большого Пса.* Мы располагаем шестью негативами на протяжении 1964—68 гг. Звезда очень красная, чему соответствуют типичные для звезд поздних спектральных классов линии поглощения Ca II и Na I. Водородные линии H<sub>α</sub>, H<sub>β</sub>, H<sub>γ</sub> в эмиссии с абсорбционными компонентами типа Р Лебеда, остальные в поглощении. Заметны также линии поглощения гелия. По линиям водорода и гелия спектральный тип звезды—промежуточный В. Однако это противоречит как цвету, так и линиям поглощения металлов. Звезду нельзя описать единым спектральным классом. Не исключено, что новоподобная по характеру переменности звезда Z Большого Пса является двойной, как и обычные новые звезды.

Линии поглощения гелия отмечены в НД, однако их не наблюдали ни П. Меррил, ни Р. Свингс и О. Струве (ссылки в [9]), ни Дж. Хербиг [9], так что спектр является переменным.



*FU Ориона.* Эта уникальная по характеру переменности блеска звезда обладает и неповторимым спектром. Ее детальный анализ был недавно проведен Дж. Хербигом [20]. Согласно [20], FU Ориона является сверхгигантом F2 Ia с оболочкой, дающей линии поглощения, смещенные в ультрафиолет по отношению к основному ряду линий поглощения. Дж. Хербиг [20] предполагает, что FU Ориона находится на стадии гравитационного сжатия и еще не достигла главной последовательности.

Наши спектры обладают недостаточной дисперсией (140 и 120 Å/мм) для детального анализа, однако показывают все главные особенности, отмеченные Дж. Хербигом. Наши UVV наблюдения также согласуются с данными [20].

*Конденсации в Симеиз 130.* В 1965 г. автор на фотографиях, полученных в кассегреновском фокусе 125 см рефлектора, обнаружил в центре туманности Симеиз 130 две туманные конденсации 15—16 величины, разделенные расстоянием две секунды дуги и отличающиеся по виду от окружающих звезд [21]. По-видимому, по своим характеристикам конденсации можно причислить к объектам Хербига-Аро.

Ряд спектрограмм, полученный В. Ф. Есиповым и автором [19], показывает на фоне непрерывного спектра конденсаций эмиссионные линии  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ . Некоторые заключения о свойствах конденсаций можно получить при изучении спектрограммы, полученной с дисперсией 300 Å/мм и экспозицией 4,5 часа (негатив № 221). На спектре видны линии [O III] 4959 + 5007, принадлежащие туманности, а также [O II] 3727 и [S II] 4068/76. Линиями собственно конденсаций являются  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  в эмиссии и водородные абсорбционные линии, начиная с  $H_\delta$ . Эмиссия  $H_\gamma$  наблюдается, однако о ее принадлежности туманности или конденсациям трудно сказать что-либо определенное. Видна межзвездная линия поглощения  $\lambda$  4430; линии же поглощения H и K ионизованного кальция, которые, вообще говоря, также могут быть межзвездными, скорее всего принадлежат конденсациям, поскольку их наличие согласуется с распределением энергии в непрерывном спектре. Спектральный тип — поздний Ae.

В 1966 г. автор [21], основываясь на некоторых предположениях, оценил характерное время жизни конденсаций („возраст“) в  $10^5$  лет и среднюю плотность  $n_e = 10^5 \text{ см}^{-3}$ . Инфракрасные наблюдения В. И. Мороза и автора [22] подтверждают теоретические прогнозы. Мера эмиссии конденсаций в предположении их малой оптической толщи  $ME=10^8$ , что при характерном размере 0.01 пс дает  $n_e = 10^5 \text{ см}^{-3}$ .

Суммарная масса конденсаций, по-видимому, заключена в пределах от нескольких сотых до нескольких десятых долей массы Солнца.

*Профили  $H_{\alpha}$ -эмиссионных линий.* Осенью 1967 г. В. Ф. Есиповым и автором с помощью спектрографа с электронно-оптическим преобразователем были получены профили линии  $H_{\alpha}$  для восьми звезд из вышеупомянутого списка. Дисперсия 25 Å/мм, разрешение 1 Å, или 50 км/сек. Напомним, что профили линий в звездах Т Тельца изучались Л. Кухи [5], который построил модель расширяющейся оболочки с вековой потерей массы. Наши данные показывают, что движения в оболочках звезд являются гораздо более разнообразными. Так например, по аналогии с обычными Ве-звездами [24] можно предполагать также наличие вращательных движений в оболочках. Рис. 1—7 воспроизводят профили индивидуальных линий в единицах непрерывного спектра, согласно [23]. Профиль для FU Ориона не приводится ввиду малости эмиссионного компонента. Рассмотрение графиков показывает, что мы наблюдаем расширяющиеся оболочки с самопоглощением (Z Большого Пса, FU Ориона) и вращающиеся оболочки („полюсные“ звезды V 380 Ориона, ВД + 40° 4124 и „звезды с экваториальными оболочками“ Лик  $H_{\alpha}$  215 и, возможно, R Единорога). Остальные случаи являются промежуточными (Т Тельца, RY Тельца). Все профили искажены самопоглощением на коротковолновой стороне линии. Это обстоятельство является естественным, поскольку плотности в оболочках, по-видимому, довольно велики ( $n_e \approx 10^{10} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ). В этой связи любопытна запрещенная линия ионизованного азота  $\lambda 6583$  в спектре Т Тельца, по-видимому, не упоминавшаяся в литературе.

Изучение морфологических характеристик кометообразных туманностей, связанных с изучаемыми звездами, приводит к выводу о возможной связи движений в оболочках звезд с динамикой окружающих туманностей.

*Фотоэлектрические наблюдения и диаграмма Херцшпрунга—Рессела.* Фотоэлектрические UBV наблюдения звезд в кометообразных туманностях проводились Г. В. Зайцевой и автором в 1966—67 гг. [14]. Данные наблюдений приведены в табл. 1. Поскольку звезды являются, как правило, иррегулярными переменными, величины звезд, полученные формальным осреднением, следует рассматривать как некоторые характерные параметры. Там же указаны фотографические оценки блеска звезд Парсамия 21 и 23 (50 см менисковый телескоп) и конденсаций в Симеиз 130 (125 см рефлектор)..



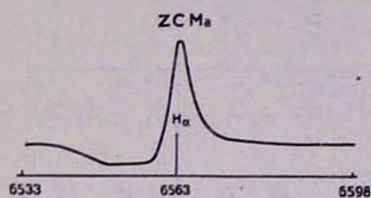


Рис. 1.

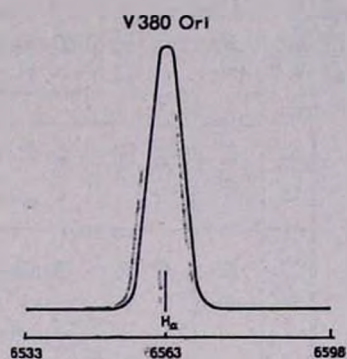


Рис. 2.

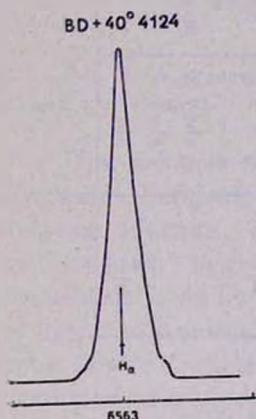


Рис. 3.

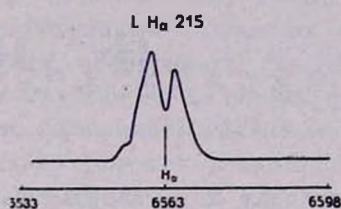


Рис. 4.

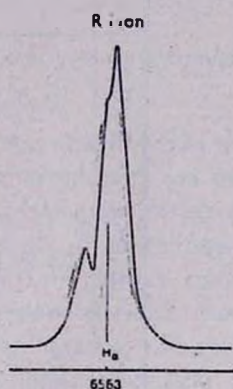


Рис. 5.

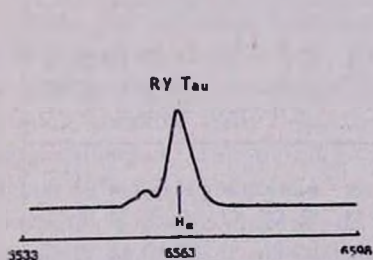


Рис. 6.

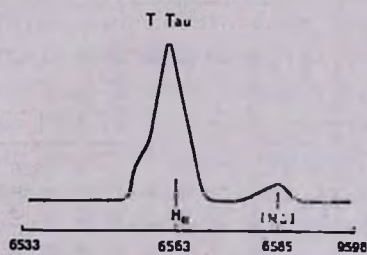


Рис. 7.

Рис. 1—7. Профили эмиссионной линии  $H_\alpha$  в спектрах звезд, связанных с кометообразными туманностями.

Таблица 1

| Звезда             | $\alpha_{1950}$                   | $\delta_{1950}$ | Спектр    | $W_{\lambda}(H_{\alpha})$                                                   | $W_{\lambda}(H_{\beta})$ | $V$           | $B-V$ | $U-B$ | Поглощение<br>$A_v$ |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|-------|-------|---------------------|
| ВД+40°4124         | 20 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 0 | +41°15'         | (B0-B2)e  | 125                                                                         | 10                       | 10.51         | 0.78  | -0.35 | 3.30                |
| R Единорога        | 6 36.4                            | + 8 47          | Ae        | 100                                                                         | 10                       | 12.07         | .64   | - .11 |                     |
| V 380 Ориона       | 5 34.0                            | - 6 45          | Be        | 70                                                                          | 10                       | 10.50         | .60   | - .02 |                     |
| MWC 1080           | 23 15.0                           | +60 34          | Be        | —                                                                           | 12                       | 11.84         | 1.38  | .00   |                     |
| Симеиз 130         | 5 20.4                            | +33 28          | Ae        | 50                                                                          | 10                       | $m_{pg}=16.0$ |       |       |                     |
| Лик H $\alpha$ 215 | 6 30.0                            | +10 12          | B5e       | 30                                                                          | —                        | 10.64         | .56   | .25   | 2.15                |
| Лик H $\alpha$ 233 | 22 32.3                           | +40 23          | A7ea      | 25                                                                          | abs                      | 13.82         | .88   | .72   | 2.20                |
| T Тельца           | 4 19.1                            | +19 25          | dK0e      | 25*                                                                         | 15-5*                    | 10.15         | 1.24  | .76   | 1.25                |
| RY Тельца          | 4 18.8                            | +28 20          | dG2e      | 20*                                                                         | —                        | 10.40         | 1.02  | .44   | 1.15                |
| Z Большого Пса     | 7 02.0                            | -11 28          | eq        | $\left\{ \begin{smallmatrix} 15_{em} \\ 8_{abs} \end{smallmatrix} \right.$  | —                        | $m_{pg}=9$    |       |       |                     |
| Анон IC 1396       | 21 35.7                           | +57 03          | (F6-F8)ex | 10                                                                          | abs                      | 13.32         | 1.79  | 1.55  | 3.90                |
| Парсамян 21        | 19 27.2                           | + 9 37          | A5ex      | 2                                                                           | abs                      | $m_{pg}=13.5$ |       |       |                     |
| FU Ориона          | 5 42.6                            | + 9 03          | F21a      | $\left\{ \begin{smallmatrix} 0.5_{em} \\ 4_{abs} \end{smallmatrix} \right.$ | abs                      | 9.00          | 1.34  | .98   | 2.95                |
| Лик H $\alpha$ 208 | 6 05.2                            | +18 42          | B8e       | —                                                                           | —                        | 12.74         | .47   | .31   | 1.65                |
| НК Ориона          | 5 28.7                            | +12 07          | A5e       | —                                                                           | —                        | 11.72         | .56   | .25   | 1.25                |
| Парсамян 23        | 23 06.1                           | +66 07          | G8        | —                                                                           | abs                      | $m_{pg}=12.0$ |       |       |                     |
| Парсамян 1         | 5 28.2                            | +34 09          | B2        | —                                                                           | abs                      | 11.04         | .88   | .72   | 1.60                |
| Анон Анд.          | 23 35.2                           | +48 08          | B8        | abs                                                                         | abs                      | 9.66          | .14   | - .18 | 0.70                |

\* Переменность

Фотоэлектрические величины звезд приведены также на двухцветной диаграмме  $B - \{V, U - V\}$  (рис. 8), где указано положение стандартной главной последовательности в соответствии с [25].

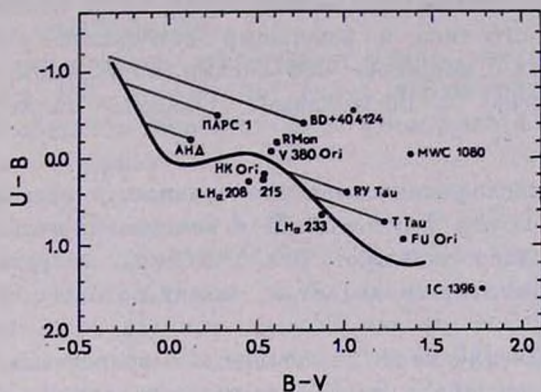


Рис. 8. Двухцветная диаграмма Херцшпрунга—Рессела для звезд в кометообразных туманностях.

При анализе положения звезд в кометообразных туманностях на диаграмме Херцшпрунга—Рессела следует иметь в виду, что мы наблюдаем объекты, расположенные в плотных поглощающих облаках или глобулах, окруженные оболочками, как правило, иррегулярные переменные и во многих случаях, по-видимому, еще не достигшие главной последовательности. Суммарный эффект всех перечисленных факторов может быть довольно сложным, возможности же оценки каждого фактора в отдельности представляются довольно неопределенными.

1. Влияние оболочек проявляется в излучении эмиссионных линий, а также континуума, искажающих истинный цвет звезды, и в случае непрозрачных оболочек — экранировании собственного спектра звезды, определяемого линиями поглощения. Влияние первого фактора оценивалось Смаком [26]. Аналогично [26], наши данные приводят к следующим цифрам. Так например, для звезды с самой сильной эмиссией BD + 40° 4124 суммарная интенсивность эмиссионных линий порядка нескольких сот ангстрем, что по отношению к 2000—3000 Å непрерывного спектра в оптическом диапазоне дает величину около десяти процентов. Ясно, что вклад эмиссий не может существенно изменить положение звезды на диаграмме.

Непрерывное излучение горячего оптически тонкого газа, согласно расчетам Р. Е. Гершберга [27], может дать существенно более голубой цвет, чем цвет звезды. Однако в нашем случае, по-видимому, наблюдаются непрозрачные оболочки. Во-первых, плотности, как это



следует из непосредственных оценок [5], довольно велики, во-вторых, наблюдаются узкие и глубокие линии поглощения, образующиеся в самой оболочке. В этих условиях существенна экранировка оболочкой истинного спектра звезды, что может привести к неверному определению спектрального типа и неверному помещению звезды на диаграмме. Для звезд с мощными оболочками, по-видимому, уместно использовать аналогию с Ве-звездами. Полезны также UVB-наблюдения.

2. Влияние поглощения света, как правило, очень велико и в отдельных случаях может достигать 3—4 величин. В этой связи оценка спектрального класса звезды по распределению энергии в непрерывном спектре, как это часто делается, может дать ошибочные результаты.

Далее, на двухцветной диаграмме мы пользуемся линиями нарастающего поглощения с общепринятым наклоном, соответствующим стандартной зависимости поглощения от длины волны. В нашем случае звезды расположены в плотных глобулах, где, вообще говоря, закон поглощения может быть и другим. Действительно, отклонения от стандартного закона известны [28, 29], причем они связываются с различной ориентацией пылинок и с различными размерами их. Еще одна любопытная возможность указана А. Поведой [30], согласно которой в плотных глобулах возможно нейтральное поглощение крупными частицами, что ослабляет светимость звезды. Применительно к нашим объектам сделать какие-либо определенные заключения о законе поглощения в настоящее время не представляется возможным.

3. Переменность звезд Т Тельца и RW Возничего исследуется в настоящее время фотозлектрически и спектрально Андерсоном и Кухи на Ликской обсерватории [31] и Г. В. Зайцевой на Крымской станции ГАИШ. В различные фазы переменности звезды занимают различные положения на диаграмме Херцшпрунга—Рессела. Эта причина довольно существенна и в отдельных случаях может объяснить несоответствие между спектром и экстраполированным цветом.

Причина переменности звезд Т Тельца неизвестна, однако она безусловно связана с их недавним происхождением [6, 9, 32]. Можно отметить работы В. Г. Горбачкого [33] и И. Г. Колесника [34] использующих ряд гидродинамических соображений.

4. Выяснение того, расположены ли звезды, связанные с кометообразными туманностями, на главной последовательности или вне ее, является одной из задач настоящего исследования. По-видимому, в отношении ряда объектов этот вывод может быть сделан на основе

имеющегося материала довольно определенно. Во-первых, можно сослаться на заключение Дж. Хербига [20] относительно FU Ориона, которую Дж. Херби́г считает объектом в стадии гравитационного сжатия, не достигшим главной последовательности. Наши наблюдения согласуются с данными [20].

Далее, аналогичное заключение можно сделать и о конденсациях в Сигеиз 130, которые по своим характеристикам примыкают к известным объектам Хербига—Аро. Убеждение в молодости последних является общепринятым.

По-видимому, довольно уверенно можно считать объектами вне главной последовательности R Единорога, V 380 Ориона и возможно родственную им звезду MWC 1080. Во-первых, непрерывный спектр R Единорога и V 380 Ориона мало искажен поглощением и в общем соответствует спектральному типу по линиям. В отношении R Единорога это было отмечено еще А. Джоем [1]. Далее, поглощение света в этом направлении невелико (Г. В. Зайцева, не опубликовано). Независимым аргументом являются инфракрасные наблюдения [35]. Согласно [35] три звезды: R Единорога, V 380 Ориона и Т Тельца обладают наибольшими инфракрасными избытками и расположены вне главной последовательности. Вывод [35] подтверждается независимыми оптическими наблюдениями.

В отношении других звезд ситуация не столь определенная, однако в целом можно думать, что наблюдательные данные, использованные в настоящей статье, подтверждают общий вывод о нестационарности звезд, связанных с кометообразными туманностями [6].

*Классификация звезд по спектральным признакам.* Для упорядочения наблюдательного материала сделаем попытку классификации рассматриваемых объектов по спектрам. Привлечение дополнительных данных, скажем, о переменности блеска, было бы чрезвычайно полезным, однако и ограниченная классификация имеет определенный смысл. Спектральные классы, вероятно, можно ассоциировать с массами звезд.

*Обычные звезды В.* Сюда относятся ВД + 8°933, ВД + 36°549, Анон. Андромеды и Парсамян 1. Вопрос о переменности блеска этих звезд неясен, но по их спектрам это, по-видимому, обычные звезды главной последовательности.

*Звезды Ae и Be со слабыми эмиссиями.* Эта группа содержит звезды Ae (НК Ориона, Лик Н<sub>2</sub> 233, Парсамян 21) и звезды Be (Лик Н<sub>2</sub> 208 и Лик Н<sub>2</sub> 215). Интенсивность эмиссий в этих звездах невелика, и звезды Лик Н<sub>2</sub> 208, 215, вероятно, похожи на обычные звезды Be.

*Звезды Ae и Be с сильными эмиссиями.* Группа звезд с мощными газовыми оболочками ВД + 40°4124, R Единорога, V 380 Ориона и MWC 1080. Из них только ВД + 40°4124, вероятно, является обычной звездой Be; остальные три объекта, по-видимому, не лежат на главной последовательности.

*Звезды-карлики F—G—K.* Сюда входят Т Тельца, RY Тельца, Анонимная в IC 1396 и Парсамян 23. Из них только последняя не имеет эмиссионных линий, правда, область H $\alpha$  не исследовалась.

*„Двойные“ или „симбиотические“ звезды:* Этим возможно не вполне удачным термином обозначены Z Большого Пса с противоречивыми характеристиками в спектре и FU Ориона с двумя сериями линий поглощения. Последняя звезда уникальна и ее трудно отнести к какой-либо группе.

*Объекты Хербига—Аро.* Эта группа представлена у нас единственным (хотя и двойным) представителем, конденсациями в Симеиз 130. Такие объекты должны быть довольно многочисленны [36].

Результаты наблюдений представлены в табл. 1, где звезды расположены в порядке убывания эквивалентных ширин эмиссионных линий водорода. Таблица содержит обозначение звезды, координаты, спектр, эквивалентные ширины линий H $\alpha$  и H $\beta$  (черточками отмечены не наблюдавшиеся линии, или те, которые трудно измерить), фотоэлектрические (или фотографические) оценки блеска и цвета и, в том случае, когда звезде можно приписать определенный нормальный цвет, поглощение в фотовизуальной области спектра. Следует отметить, что многие из наблюдаемых звезд подвержены спектральным изменениям, так что и предлагаемая классификация, и расположение звезд в таблице могут измениться.

*Заключение.* Результаты наблюдений, представленные в настоящей статье, показывают, что с кометообразными туманностями ассоциируются звезды самых разных спектральных классов, в нашем случае от B0 до K0. Мы приходим к выводу, что в кометообразных туманностях могут возникать звезды с самыми различными физическими характеристиками.

Преобладание среди изученных объектов звезд ранних спектральных типов A—B является, разумеется, следствием наблюдательной селекции, неизбежной при выборке объектов по их яркости. В действительности, как показывают статистические исследования Г. С. Бадаляна [37], число кометообразных туманностей, связанных со звездами—



карликами, должно быть значительным. Изучение распределения звезд в кометообразных туманностях по спектральным типам является важной задачей. Не исключено, что это распределение может отличаться от распределения изолированных звезд.

Далее, в нашем списке встречаются и обычные звезды, без каких-либо спектральных особенностей. Их преобладание в спектральном классе В находит естественное объяснение в свете современных представлений [9, 32], согласно которым звезды с большей массой быстрее эволюционируют и быстрее достигают равновесного состояния. Шкала времени эволюции звезд О—В порядка  $10^5$ — $10^6$  лет, тогда как для звезд G—K эти времена достигают  $10^8$ — $10^9$  лет. Интересно сравнить с этим время жизни кометообразных туманностей.

Встречаются различные формы кометообразных туманностей, с различным соотношением между ионизованным, нейтральным и пылевым веществом. Ионизованный газ (ободки глобул и т. д.) светится вместе с зоной HII, возбуждаемой горячей О-звездой, и время жизни таких деталей невелико ( $\approx 10^5$  лет). Пылевая и нейтральная компоненты более долговечны. При характерных размерах в несколько десятых парсека и характерных скоростях в доли километра в секунду „кинематическое“ время жизни кометообразных туманностей составляет  $\approx 10^6$  лет. Правда, наличие стабилизирующих факторов, например магнитного поля, может увеличить это время. В целом нельзя сомневаться в том, что наличие кометообразной туманности свидетельствует о недавнем происхождении связанной с ней звезды, в согласии с [6].

Некоторые соображения о происхождении звезд в кометообразных туманностях предлагались автором ранее [38]; также отмечалась молодость таких звезд.

Автор признателен Г. В. Зайцевой за разрешение использовать неопубликованные данные и за помощь при обработке спектров, В. Т. Дорошенко за получение фотографий на менисковом телескопе, Дж. Хербигу за сообщение данных о звезде IC 1396, В. Ф. Есипову за содействие в получении спектров с ЭОП, В. И. Пронику за предоставление менисковой камеры для спектрографа и А. А. Боярчуку, Р. Е. Гершбергу и П. Н. Холопову за обсуждение результатов.

Крымская станция

ГАИШ

## THE SPECTRA OF STARS IN COMET-LIKE NEBULAE

E. A. DIBAY

Observations of spectra of stars in comet-like nebulae performed by means of a 125 cm reflector in 1964—1968 are given. Quantitative description of the spectra is given, the cases of variability of lines are found.

The profiles of emission lines in the spectra of eight stars have been studied. The motions in envelopes have a complicated character (broadening, rotating) and it seems that they are connected with the dynamics of surrounding nebulae. By means of photoelectric observations the position of stars connected with comet-like nebulae on the Hertzsprung—Russel diagram is analysed. It has been shown that some of these objects do not lie on the main sequence.

In the whole the objects in comet-like nebulae are nonsteady probably as a result of their youth.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A. Joy, *Ap. J.*, 102, 186, 1945.
2. O. Struve, P. Swings, *Ap. J.*, 91, 576, 1940; 98, 91, 1943.
3. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 111, 11, 1950.
4. M. F. Walker, *Ap. J. Suppl.*, 2, 365, 1956.
5. L. V. Kuhi, *Ap. J.*, 140, 1409, 1964.
6. В. А. Амбарцумян, *Сообщ. Бюро. обс.*, 13, 3, 1954.
7. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Изв. КрАО*, 15, 11, 1955.
8. В. Г. Фесенков, Д. А. Рожковский, *Атлас газо-пылевых туманностей*, 1953.
9. G. H. Herbig, *Ap. J. Suppl. ser.*, 4, 337, 1960.
10. Э. С. Парсмяк, *Изв. АН АрмССР*, 18, 146, 1965.
11. Г. М. Попов, *Изв. КрАО*, 30, 320, 1963.
12. А. В. Харитонов, *Автореферат*, Алма-Ата, 1963.
13. А. Д. Код, в сб. *„Звездные атмосферы“*, ИЛ., М., 1963.
14. Э. А. Дибай, Г. В. Зайцева, *Астрон. цирк.*, № 481, 1968.
15. М. В. Долидзе, *Бюлл. Абаст. обс.*, 26, 21, 1961.
16. Э. А. Дибай, *Астрон. ж.*, 43, 903, 1966.
17. J. L. Greenstein, *Ap. J.*, 107, 375, 1948.
18. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 152, 439, 1968.
19. Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрон. ж.*, 45, 566, 1968.
20. G. H. Herbig, *Vistas in Astronomy*, 8, 109, 1966.
21. Э. А. Дибай, *Астрон. ж.*, 43, 52, 1966.
22. В. И. Мороз, Э. А. Дибай, *Астрон. ж.*, 45, 231, 1968.
23. Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрон. ж.* (в печати).
24. А. А. Боярчук, И. И. Проник, *Изв. КрАО*, 31, 3, 1964.
25. Х. Арп, в сб. *„Происхождение и эволюция звезд“*, ИЛ., М., 1962.
26. J. Stak, *Ap. J.*, 139, 1095, 1964.
27. Р. Е. Гершберг, *Астрофизика*, 3, 127, 1967.

28. *J. Borgman, H. L. Johnson*, *Ap. J.*, 135, 306, 1962.
29. *И. И. Проник*, *Астрон. ж.*, 41, 963, 1964.
30. *A. Poveda*, *Bull. Obs. Tonantzintla*, 4, 15, 1965.
31. *L. Anderson, L. V. Kuhl*, Симпозиум „Неперодические явления в переменных звездах“, Будапешт, 1968.
32. *П. Н. Холопов*, *ПЗ*, 15, 1964.
33. *В. Г. Горбачук*, *ПЗ*, 15, 27, 1964.
34. *И. Г. Колесник, Б. Е. Жилев*, *Астрон. ж.*, 45, 86, 1968.
35. *E. E. Mendoza*, *Ap. J.*, 143, 1010, 1966.
36. *G. Haro*, *Ap. J.*, 117, 73, 1958.
37. *Г. С. Бадалян*, *ДАН АрмССР*, 31, 261, 1960.
38. *Э. А. Дибай*, *Астрон. ж.*, 35, 469, 1958; 37, 16, 1960; 40, 759, 1963.



## ДАННЫЕ О НАБЛЮДАТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

| Объект                 | № негатива | Дисперсия<br>А/мм | Экспозиция                | Дата       |
|------------------------|------------|-------------------|---------------------------|------------|
| 1                      | 2          | 3                 | 4                         | 5          |
| ВД+30°549              | 330        | 300               | 20 мин                    | 9.10.1966  |
|                        | 338        | 300               | 30 "                      | 10.10.1966 |
| Анон Андромеды         | 314        | 64 ЭОП            | 20 "                      | 5.10.1966  |
|                        | 315        | 64                | 10 "                      | 5.10.1966  |
|                        | 328        | 300               | 30 "                      | 9.10.1966  |
|                        | 336        | 300               | 15 "                      | 10.10.1966 |
|                        | 361        | 64 ЭОП            | 20 "                      | 25.10.1966 |
|                        | 498        | 120               | 1 ч 50 мин                | 23.03.1968 |
| Парсамян 1             | 499        | 120               | 3 ч                       | 25.03.1968 |
| Парсамян 21            | 288        | 250 ЭОП           | 30 мин                    | 14.09.1966 |
|                        | 295        | 250               | 60 "                      | 15.09.1966 |
|                        | 302        | 250               | 60 "                      | 20.09.1966 |
|                        | 303        | 250               | 60 "                      | 20.09.1966 |
|                        | 306        | 250               | 60 "                      | 21.09.1966 |
|                        | 184        | 250 ЭОП           | 60 "                      | 23.09.1965 |
| Лик Н <sub>α</sub> 233 | 191        | 250               | 30 "                      | 24.09.1965 |
|                        | 285        | 250               | 40 "                      | 13.09.1966 |
|                        | 293        | 250               | 20 "                      | 14.09.1966 |
|                        | 309        | 250               | 30 "                      | 21.09.1966 |
|                        | 113        | 140               | 1 ч 20 мин                | 30.01.1965 |
|                        | 222        | 300               | 60 мин                    | 19.01.1966 |
| НК Ориона              | 372        | 300               | 60 "                      | 9.03.1967  |
|                        | 491        | 120               | 1 ч 40 мин                | 23.02.1968 |
|                        | 495        | 120               | 1 " 30 "                  | 24.02.1968 |
|                        | 486        | 120               | 40 мин                    | 20.01.1968 |
|                        | 490        | 120               | 60 мин                    | 23.02.1968 |
|                        | 494        | 120               | 30 "                      | 24.02.1968 |
| Лик Н <sub>α</sub> 215 | 186        | 250 ЭОП           | 60 мин, щель по склонению | 23.09.1965 |
|                        | 193        | 300               | 60 "                      | 24.09.1965 |
| "                      | 375        | 300               | 60 "                      | 9.03.1967  |
| Парсамян 23            | 322        | 64 ЭОП            | 20 "                      | 7.10.1966  |
|                        | 329        | 300               | 40 "                      | 9.10.1966  |
|                        | 337        | 300               | 1 ч 20 мин                | 10.10.1966 |
| Анон IC 1396           | 156        | 300               | 2 ч                       | 28.07.1965 |
|                        | 159        | 250 ЭОП           | 30 мин                    | 21.08.1965 |
|                        | 168        | 250               | 30 "                      | 25.08.1965 |

## Приложение 1 (продолжение)

| 1            | 2   | 3       | 4          | 5          |
|--------------|-----|---------|------------|------------|
| RY Тельца    | 173 | 250     | 30 "       | 26.08.1965 |
|              | 179 | 250     | 60 "       | 21.09.1965 |
|              | 219 | 300     | 3 ч        | 14.12.1965 |
|              | 277 | 300     | 4 "        | 22.07.1966 |
|              | 289 | 250 ЭОП | 20 мин     | 14.09.1966 |
|              | 304 | 250     | 40 "       | 20.09.1966 |
|              | 308 | 250     | 20 "       | 21.09.1966 |
|              | 112 | 140     | 60 "       | 30.1 .1965 |
|              | 339 | 300     | 20 "       | 10.10.1966 |
|              | 366 | 300     | 40 "       | 13.11.1966 |
|              | 371 | 300     | 30 "       | 9.03.1967  |
|              | 483 | 120     | 45 "       | 30.12.1967 |
| T Тельца     | 102 | 140     | 40 "       | 3.01.1965  |
|              | 225 | 140     | 60 "       | 13.02.1966 |
|              | 367 | 300     | 30 "       | 13.11.1966 |
|              | 369 | 300     | 20 "       | 17.11.1966 |
|              | 479 | 120     | 1 ч 30 мин | 28.11.1967 |
| ВД+40°4124   | 60  | 140     | 60 мин     | 5.08.1964  |
|              | 61  | 140     | 60 "       | 6.08.1964  |
|              | 276 | 300     | 40 "       | 22.07.1966 |
|              | 326 | 300     | 30 "       | 9.10.1966  |
|              | 334 | 300     | 20 "       | 10.10.1966 |
| R Единорога  | 8   | 140     | 2 ч        | 5.01.1964  |
| NGC 2261     | 14  | 140     | 3 "        | 6.01.1964  |
|              | 15  | 140     | 1 "        | 6.01.1964  |
|              | 18  | 140     | 4 "        | 8.01.1964  |
|              | 27  | 140     | 75 мин     | 11.01.1964 |
|              | 30  | 140     | 4 ч        | 12.01.1964 |
|              | 33  | 140     | 3 ч 30 мин | 10.03.1964 |
|              | 38  | 140     | 2 "        | 14.03.1964 |
|              | 96  | 140     | 3 "        | 8.11.1964  |
|              | 100 | 140     | 2 ч 30 мин | 2.01.1965  |
|              | 107 | 140     | 2 " 30 "   | 24.01.1965 |
|              | 216 | 300     | 75 мин     | 27.11.1965 |
|              | 217 | 300     | 2 ч        | 2.12.1965  |
|              | 501 | 120     | 3 "        | 26.03.1968 |
|              | 481 | 120     | 30 мин     | 28.11.1967 |
|              | 485 | 120     | 40 "       | 20.01.1968 |
| V 380 Ориона | 489 | 120     | 60 "       | 23.02.1968 |

## Приложение I (продолжение)

| 1              | 2       | 3       | 4          | 5          |
|----------------|---------|---------|------------|------------|
| MWC 1080       | 493     | 120     | 30 мин     | 24.02.1968 |
|                | 496     | 120     | 60 "       | 16.03.1968 |
|                | 365     | 300     | 2 ч 30 мин | 13.11.1966 |
|                | 368     | 300     | 2 "        | 17.11.1968 |
| Z Большого Пса | 98      | 140     | 20 мин     | 25.12.1964 |
|                | 114     | 140     | 15 "       | 30.01.1965 |
|                | 218     | 300     | 15 "       | 2.12.1965  |
|                | 373     | 300     | 12 "       | 9.03.1967  |
| FU Ориона      | 487     | 120     | 30 "       | 20.01.1968 |
|                | 492     | 120     | 25 "       | 24.02.1968 |
|                | 97      | 140     | 20 "       | 25.12.1964 |
|                | 106     | 140     | 30 "       | 24.01.1965 |
| Симеиз 130     | 224     | 140     | 20 "       | 12.02.1965 |
|                | 484     | 120     | 40 "       | 28.12.1967 |
|                | 488     | 120     | 20 "       | 20.01.1968 |
|                | 192     | 250 ЭОП | 60 "       | 24.09.1965 |
| Конденсация    | 196     | 250     | 60 "       | 25.09.1965 |
|                | 200     | 250     | 60 "       | 26.09.1965 |
|                | 203     | 250     | 60 "       | 27.09.1965 |
|                | 211—215 | 250     | 30—40 мин  | 29.10.1965 |
|                | 221     | 300     | 4 ч 30 мин | 16.01.1966 |
|                | 354     | 250 ЭОП | 40 мин     | 24.10.1966 |
|                | 362     | 64 ЭОП  | 2 ч 40 мин | 25.10.1966 |

## Примечание к корректуре:

Приведем фотозлектрические измерения для звезд Парсамиян 23 и Z Большого Пса, полученные совместно с В. М. Лютым:

| Звезда       | Дата       | V     | B—V  | U—B  |
|--------------|------------|-------|------|------|
| Парсамиян 23 | 14/15.1.69 | 10.83 | 1.40 | 1.37 |
| ZC Ma        | 22/23.4.60 | 8.90  | 1.05 | 1.68 |