

УДК: 524.9-86

ИЗМЕНЕНИЕ БЛЕСКА И СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ТРЕХ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАСТИ ЛЕБЕДЯ

Г.А.АРУТЮНЯН, Н.Д.МЕЛИКЯН

Поступила 2 февраля 2001

Принята к печати 15 мая 2001

Приводятся результаты исследования трех пекулярных объектов в области Лебедя. Один из них уже был известен как объект Хербига-Аро. Согласно наблюдательным характеристикам второй объект, по всей вероятности, является звездой типа Т Тельца. Физический характер последнего объекта пока еще не выяснен до конца, но, исходя из свойств его излучения в близкой инфракрасной области, он, по всей вероятности, также является звездой типа Т Тельца. Измерены собственные движения объектов. Показано, что все три объекта являются членами тесной системы типа Трапеции и, по-видимому, являются результатами последовательной фрагментации первоначального дозвездного тела.

1. *Введение.* Объекты Хербига-Аро являются представителями семейства самых молодых объектов малой светимости в Галактике. Это компактные, туманные по внешнему виду образования с характерным эмиссионным спектром, без признаков континуума. Несмотря на то, что в настоящее время уже известно около 500 объектов Хербига-Аро [1], лишь некоторые из них показывают достоверную генетическую или физическую связь с массивными молодыми звездами [2,3]. Подавляющее большинство этих объектов тесно связано со звездами типа Т Тельца, что делает изучение последних чрезвычайно важным с точки зрения правильной интерпретации эволюционной последовательности звездных объектов.

Объекты Хербига-Аро впервые были обнаружены и исследованы как отдельный класс объектов в области Ориона [4-6]. Уже первые наблюдательные характеристики этих объектов позволили Амбарцумяну предположить, что они являются "крайне ранними стадиями развития вновь возникающих звезд - объектов типа Т Тельца" [7]. Результаты дальнейших исследований, особенно обнаружение их тесной связи со звездами типа Т Тельца, свидетельствуют о правдоподобности приведенного выше предположения Амбарцумяна.

Несмотря на интенсивные исследования объектов Хербига-Аро за последние 50 лет, их физическая природа остается не вполне понятной. Нередко эти объекты по внешним характеристикам отождествляются с истечениями вещества из молодых карликовых звезд типа Т Тельца [8]. Другой характерной чертой этих объектов является то, что почти всегда они обладают большими пространственными скоростями.

Наблюдениями на метровом телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории, оснащенном 4° объективной призмой, ранее было обнаружено около 40 новых H_α эмиссионных звезд в области Лебеда, с размерами $4^\circ \times 4^\circ$ [9]. С целью более детального исследования небольшого участка неба с размерами $6' \times 11'$ вокруг двух эмиссионных звезд из этой области, были проведены новые наблюдения с помощью 2.6-м телескопа БАО. Это позволило обнаружить новые объекты Хербига-Аро, а также 7 H_α эмиссионных звезд, одну новую кометарную туманность и одну новую инфракрасную туманность в непосредственной близости к одной из групп объектов Хербига-Аро [10,11]. По площади изученная область является крохотной частью области ассоциации Суг OB7 и проецируется на фоне темной туманности Хавтасси 141 [12], расстояние которой оценивается равным примерно 400 пк[13].

Дальнейшие исследования объектов указанной области, для чего были использованы также необходимые данные из DSS1 и DSS2 (Digital Sky Survey), позволили выявить некоторые интересные детали у трех объектов, находящихся на ничтожно малой площади с размерами $10'' \times 20''$. Один из этих объектов уже был известен как объект Хербига-Аро [11], второй, по всей вероятности, является звездой типа Т Тельца. Выяснить что-либо о физической сущности третьего объекта на основе имеющихся наблюдательного материала и литературных источников нам не удалось.

В настоящей работе приводятся результаты предварительных исследований вышеупомянутых объектов.

2. Наблюдения. С целью детальных исследований указанных объектов был использован наблюдательный материал, полученный на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории, снабженном системой "ВуFOSC". При наблюдениях была использована CCD-камера, со светопринимающим элементом фирмы "Thomson" размерами 1060×1028 pix, в сочетании с красной гризмой, охватывающей спектральную область $5500-7500\text{\AA}$. Наблюдательный материал получен с помощью светофильтра [SII], имеющего полуширину примерно $75\text{\AA}$, а также фильтра I для близкой инфракрасной области, охватывающего спектральную область $7000-9000\text{\AA}$. Данные комбинации аппаратуры обеспечивают спектральное разрешение порядка $1.7\text{\AA}/\text{pix}$. Методика наблюдений, а также использованная аппаратура более подробно ранее были описаны в [10,14]. Отметим, что для оценки звездных величин в красных лучах, а также для измерения собственных движений исследуемых объектов нами использованы данные из DSS1 и DSS2.

3. Результаты наблюдений. На рис.1a,b,c,d приведены изображения исследуемой области в разных лучах. Изображение 1a получено с помощью светофильтра [SII], а на рис.1b показана эта же область в близких

инфракрасных лучах. Остальные два изображения (1с и 1d), которые приведены с целью сравнения, перепечатаны с карт Паломарского обзора неба, для чего были использованы, соответственно, оцифрованные атласы DSS2 и DSS1. На рис.1 стрелками показаны все три объекта, которые рассматриваются нами здесь.

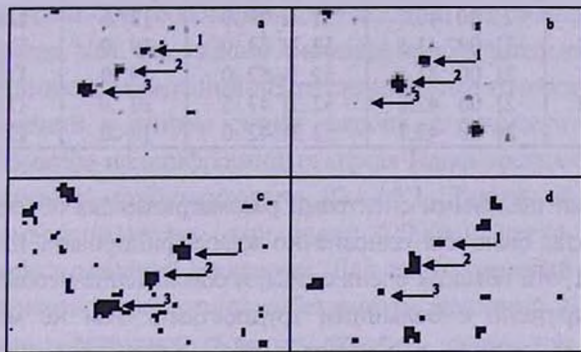


Рис.1. Изображения исследуемой области: а) получено с помощью светофильтра [SIII]; б) в близких инфракрасных лучах; с) перепечатано из DSS2; д) перепечатано из DSS1.

Объект No3 (нижний левый объект на рисунке), по всей вероятности, является объектом Хербига-Аро [11]. На рис.1b, полученном в близких инфракрасных лучах, этот объект отсутствует. Хорошо видно также, что, в отличие от объекта Хербига-Аро, звезды No1 и No2 показывают достаточно сильное излучение в близкой инфракрасной области. С другой стороны, сравнение показывает, что объект Хербига-Аро, а также объект No1, на двух картах Паломарского обзора неба, полученных в разные эпохи, имеют совершенно разные яркости. Для оценки звездных величин этих объектов были использованы звезды исследуемого поля с размерами $6' \times 11'$ [10,11]. Однако изменение яркости указанных двух объектов легко можно заметить также на основе непосредственного сравнения их изображений с изображением объекта No2.

В табл.1 приводятся измеренные координаты для 2000г., а также звездные величины всех трех объектов в красных лучах, которые были оценены на основе изображений карт вышеупомянутых Паломарских обзоров неба. Как явствует из данных, приведенных в табл.1, блеск объектов No1 и 3 претерпел значительное изменение. Причем, следует отметить, что оба эти объекта за промежуток времени, прошедшего между двумя обзорами, стали ярче.

Более того, уже поверхностное сравнение показывает, что координаты всех трех объектов также существенно изменились за указанный период. Ниже мы остановимся чуть подробнее на обосновании достоверности этих изменений и реальности измеряемых собственных движений исследуемых объектов.

К сожалению, в настоящий момент мы пока еще не располагаем

Таблица 1

КООРДИНАТЫ И ЯРКОСТИ ОБЪЕКТОВ

No	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	m_R	
1	21 ^h 00 ^m 40 ^s .3	52° 31' 58".0	19 ^m .5	DSS1
	21 00 40.1	52 31 59.0	18.5	DSS2
2	21 00 41.5	52 31 53.0	19.0	DSS1
	21 00 41.1	52 31 52.0	19.0	DSS2
3	21 00 42.6	52 31 47.5	20.0	DSS1
	21 00 42.7	52 31 42.0	18.0	DSS2

качественными щелевыми спектрами рассматриваемых объектов, с помощью которых можно было бы однозначно классифицировать их. Как видно из данных табл.1, эти объекты очень слабы, и обеспечение необходимого качества спектров сопряжено с большими трудностями. Тем не менее, некоторые наблюдательные данные позволяют в грубом приближении предварительно отнести объект No1 к категории звезд типа Т Тельца. В пользу такого предположения свидетельствуют как достаточно уверенно зарегистрированная переменность блеска ($\Delta m \approx 1^m$) и очевидная связь со слабой туманностью, так и наличие сильного излучения в близкой инфракрасной области. Правда, все перечисленные особенности являются всего лишь необходимыми свойствами для звезд указанного типа и не могут считаться достаточным условием для гарантированной классификации звезды.

Отметим также, что в настоящей работе эти три объекта отдельно рассматриваются по вполне определенным причинам. Во-первых, два из них показали ощутимую переменность блеска, что само по себе является интересным фактом. Во-вторых, среди 7 звезд, находящихся с этими объектами в исследуемой области с размерами 1'.2 x 1'.2, именно у этих трех объектов зарегистрированы самые большие значения собственных движений. Немаловажен и тот факт, что эта тройка объектов составляет цепочку длиной около 10", где расстояния первого от второго и второго от третьего почти равны между собой. Если учесть, наряду с этим, что все они проецируются на фоне темной туманности Хавтасси 141 [12], то не кажется маловероятным, что рассматриваемые здесь объекты составляют одну физическую систему. Уверенность для высказывания такого предположения представляется еще более обоснованной, когда делается детальное сравнение направлений их собственных движений.

3.1. Собственные движения. С помощью координат, приведенных в табл.1, абсолютные значения перемещений рассматриваемых объектов вычисляются очень просто. И поэтому, с помощью этих данных, сразу находим, что указанные значения примерно составляют от 2" до 6" за промежуток времени между двумя обзорами неба. Разница эпох

наблюдений DSS1 и DSS2 составляет примерно 35-40 лет.

Известно, что при увеличении промежутка между наблюдательными эпохами погрешность определения собственных движений (μ) по каждой координате монотонно уменьшается и при разнице эпох порядка 40-60 лет приближается к значению $0''.01$. С другой стороны, наименьшее значение ($2''$), полученное нами для собственных движений на основе указанных обзоров, имеет звезда No1. Но уже это значение приблизительно на порядок превышает погрешность измерений. Естественно, что точность измерения собственных движений в данном случае зависит от точности определения координат этих объектов на оцифрованных картах Паломарских обзоров неба. Последняя составляет приблизительно $0''.1-0''.2$. Таким образом, имея координаты, приведенные на одну эпоху (2000г.), легко могут быть вычислены векторы изменений координат. Для таких значений абсолютного перемещения точность определения собственных движений ($0''.02$) можно считать более чем достаточной. Следует отметить также, что координаты взятых наугад других объектов, находящихся в непосредственной близости, остаются неизменными в пределах погрешностей определения.

Из-за отсутствия щелевых спектров мы не располагаем значениями радиальных скоростей, что позволило бы вычислить также и пространственные скорости этих объектов. Поэтому мы имеем возможность исследовать лишь характеристики их собственных движений. Собственное движение на небесной сфере, как известно, задается абсолютной величиной μ (проекцией пространственной скорости объекта на небесной сфере, выраженной в секундах дуги в год) и величиной позиционного угла θ , отсчитываемого против часовой стрелки от направления на северный полюс мира. С помощью этих двух величин можно получить вектор собственного движения (скорость движения объекта и ее направление). Эти данные для исследованных трех объектов приводятся в табл.2. При вычислении величины μ мы исходили из того, что разница эпох Паломарских двух обзоров составляет 35 лет. В качестве расстояния объектов было принято значение 400 пк.

Отметим, что авторам не удалось найти другого объяснения для смещения координат рассматриваемых объектов, кроме как их реальных собственных движений. Ни годичный параллакс звезд, ни дифференциальное вращение Галактики не могли бы обеспечить подобную картину. Приведенные

Таблица 2

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ, ПОЗИЦИОННЫЕ УГЛЫ И СКОРОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

No	μ	θ	$V(\text{км/с})$
1	$0''.06$	299°	110
2	$0''.11$	255	210
3	$0''.16$	170	300

значения перемещений чрезмерно велики для указанных эффектов. Кроме этого, объекты смещены в разные стороны, что не могло случиться вследствие вышеуказанных эффектов. Поэтому нам наиболее естественным кажется утверждение, что значения, приведенные в табл.2, обусловлены только собственными пространственными движениями этих объектов.

Если точность определения координат на оцифрованных картах Паломарских обзоров составляет $0''.1-0''.2$, то легко могут быть оценены также максимальные ошибки определения как позиционных углов движения объектов, так и их собственных движений. Для первого объекта максимальная ошибка (при определении координат с погрешностью $0''.2$) определения позиционного угла составляет примерно $\pm 7''.5$, для второго и третьего - $\pm 3''.7$ и $\pm 2''.3$ соответственно. Следовательно, ошибки определения координат не могут изменить общую картину, которую составляют векторы собственных движений объектов. Можно также заключить, что наибольшие ошибки определения проекций линейных скоростей этих объектов на небесную сферу или тангенциальных скоростей не превышают значения 20 км/с.

4. Анализ собственных движений. Таким образом, на основе анализа данных о координатах рассматриваемых трех объектов мы приходим к выводу, что они располагают достаточно большими значениями собственных движений. В табл.3 приведены значения угловых расстояний между рассматриваемыми объектами для двух эпох, а также величины изменений этих расстояний.

Таблица 3

УГЛОВЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ

Пара	I эпоха	II эпоха	Разница
(1;2)	12".05	11".50	-0".55
(1;3)	23 .50	29 .20	5 .70
(2;3)	11 .50	17 .70	6 .20

Как легко видеть из приведенных данных, расстояние между компонентами двух пар (второй и третьей) увеличилось, а в случае первой пары оно незначительно уменьшилось за период между двумя обзорами. Отсюда можно сделать вывод, что основным фактором увеличения расстояний между объектами является большая скорость объекта Хербига-Аро. То, что расстояние между первым и вторым объектами уменьшается, легко понять на основе сравнения их скоростей. Образно говоря, второй объект просто "догоняет" первый. И, действительно, компонента скорости объекта No2, параллельная вектору движения первого объекта - $0''.11\cos 44^\circ = 7''.9$, больше скорости последнего. Тем не менее, сразу видно, что максимальные размеры рассматриваемой тройной системы со временем увеличиваются.

С другой стороны, линии, показывающие направления векторов собственных движений пересекаются и образуют треугольник с площадью примерно 40 кв. с. Поэтому сразу же возникает впечатление, что эти объекты были выброшены каким-то образом из некоторой точки данного треугольника. Тогда ясно, что с помощью найденных позиционных углов можно приблизительно определить координаты точки на небесной сфере, откуда эти объекты начали свои движения. Предполагая, что они движутся по прямым траекториям и продолжая эти линии в обратном направлении по отношению к собственным движениям, мы можем определить точку их пересечения.

Эта задача может быть решена простым алгебраическим методом. Очевидно, что для этой цели следует сначала определить уравнения линий, по которым происходят движения этих объектов. Далее эти уравнения можно или решить попарно и получить координаты трех точек пересечения, или методом наименьших квадратов сразу найти наиболее вероятное решение для всех трех уравнений. На рис.2 показаны точки пересечения траекторий этих объектов, которые составляют малый треугольник с

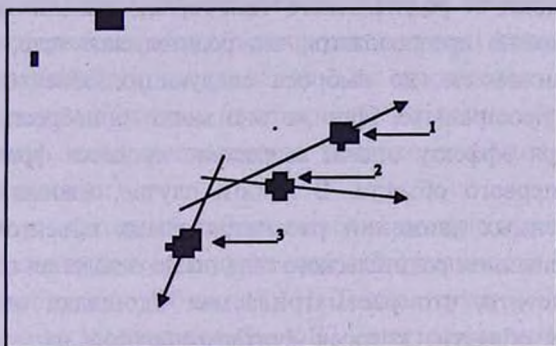


Рис.2. Направления собственных движений исследуемых объектов.

вершинами $(42^{\circ}.4; 55^{\circ}.8)$, $(41^{\circ}.4; 52^{\circ}.8)$ и $(42^{\circ}.4; 55^{\circ}.8)$, где в качестве локального начала координат избрана точка $(21^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}; 52^{\circ}31'00'')$. Центр "тяжести" этого треугольника находится в точке с координатами

$$\alpha_{(2000)} = 21^{\text{h}}00^{\text{m}}42^{\text{s}}.1; \quad \delta_{(2000)} = 52^{\circ}31'51''.9.$$

Достаточно четкая картина разбегания объектов, тем не менее, ставит много новых вопросов. Продолжение траектории объекта No1, при детальном его исследовании, оказывается достаточно сложным для однозначной интерпретации наблюдаемой картины. Дело в том, что оно проходит почти через те точки, в которых находились объекты No2 и No3 во время Паломарского первого обзора. Тогда отпадает версия выброса первого объекта с той же точки, откуда были выброшены остальные два объекта. Основываясь на этой картине, три наиболее вероятные, на наш

взгляд, версии могут быть обсуждены. Первая версия самая тривиальная - первый объект генетически не связан с остальными двумя объектами. Она кажется недостаточно убедительной, если учитывать те доводы, которые были приведены в разделе 2.

Наблюдаемое направление движения объекта No1 можно объяснить также гравитационным влиянием, вследствие чего постепенно увеличилось значение позиционного угла. Это означало бы, что мы просто не имели права экстраполировать его траекторию прямой линией, и следовало бы учесть ее криволинейность. Это, естественно, сопряжено с известными трудностями и введением в рассмотрение новых неизвестных параметров.

Наблюдаемая картина может быть качественно объяснена также и на основе гипотезы о *последовательной фрагментации* первоначального родительского объекта. Для такого заключения обратим внимание на следующие факты. Во-первых, объект No1 находится дальше всего от точки, являющейся "центром тяжести" вышеупомянутого треугольника. Во-вторых, значение его собственного движения является наименьшим среди трех. Это означает, что, если придерживаться данной гипотезы, то, очевидно, нужно учесть тот факт, что объект отделился от родительского тела гораздо раньше остальных двух. Следовательно, можно предположить, что родительское тело, также обладая собственным движением, до выброса следующих объектов само могло переместиться в пространстве. Или же оно могло приобрести необходимую скорость благодаря эффекту отдачи вследствие процесса фрагментации при формировании первого объекта. В любом случае, взаимная ориентация векторов собственных движений рассматриваемых объектов может быть объяснена перемещением родительского тела после отделения первого объекта.

Следует отметить, что рассматриваемая площадка является малой частью большой области, которая считается одной из самых молодых областей звездообразования в Галактике [10,11]. Поэтому результаты о больших значениях собственных движений и характере этих движений приобретают важное космогоническое значение. Для более детального изучения вопроса следует провести аналогичный анализ с привлечением большего количества молодых объектов данной области. Однако уже этот анализ позволяет заключить, что наблюдаемая картина, по крайней мере, не противоречит гипотезе Амбарцумяна об образовании звезд в результате последовательной фрагментации дозвездного вещества.

5. Заключение. Гипотеза о совместном происхождении звезд в двойных и кратных системах была выдвинута еще в тридцатые годы [18]. Открытие таких динамически неустойчивых систем, каковыми являются звездные ассоциации и кратные системы типа Трапеции, стало неоспоримым доказательством этого предположения. Помимо этих открытий следует особо отметить и другие факты, такие, как, например, открытие

идентичности содержания металлов в компонентах звездных пар [19], которые не оставляют сомнений в совместном происхождении компонентов этих систем. Тем не менее, любой новый факт, касающийся ранних стадий эволюции звезд, чрезвычайно важен с точки зрения уточнения наших представлений о процессе формирования звезд и их систем.

С помощью наблюдений на 2.6-м телескопе БАО, а также оцифрованных карт Паломарских двух обзоров исследованы изменения блеска и координат трех молодых звездных объектов. На основе этих исследований можно сделать следующие выводы:

- а) Два из этих объектов показывают значительные изменения блеска.
- б) Один из переменных объектов является объектом Хербига-Аро, а другой - звездой типа Т Тельца.
- в) Все они обладают значительными собственными движениями и соответствующими линейными скоростями, причем наибольшей скоростью обладает объект Хербига-Аро.
- г) Система, состоящая из трех объектов, расширяется и постепенно меняет конфигурацию.
- д) Траектории движений этих трех объектов пересекаются в узкой области неба, которая для всех объектов расположена на противоположной стороне по отношению к направлениям их движений.
- е) Наблюдательные данные не противоречат концепции Амбарцумяна о формировании звезд посредством последовательной фрагментации дозвездного вещества.

Все расчеты в настоящей работе выполнены при предположении, что эти объекты проецируются на фоне темной туманности Хавтасси 141 и находятся на расстоянии 400 пк [12,13]. Темная туманность Хавтасси 141 находится в центре ассоциации Суг OB7, расстояние которой равно 740 пк [13,15,16]. Простые оценки показывают, что если бы исследованные объекты находились даже на расстоянии этой ассоциации, нарисованная физическая картина не претерпела бы качественных изменений. Остались бы в силе также и все заключения. Однако в таком случае линейные скорости всех трех объектов увеличились бы почти вдвое, что для объекта Хербига-Аро, например, составило бы примерно 600 км/с.

Здесь важно отметить также, что все три исследованные объекта находятся в маленькой области с размерами $10'' \times 20''$, что на расстоянии 400 пк соответствует линейным размерам 4000×8000 а.е. Для сравнения отметим, что радиус облака Оорта оценивается в 50000 а.е. Очевидно, что, согласно известным критериям [17], эти объекты составляют тесную систему типа Трапеции. Этот результат можно считать весьма важным, так как при его окончательном подтверждении впервые можно будет говорить о системе типа Трапеции, в состав которой входят звезда типа Т Тельца и объект Хербига-Аро. С чисто космогонической точки зрения

эта система может быть отличным примером в пользу генетической связи этих объектов со звездами типа Т Тельца [7].

Для более точных оценок расстояния требуются дальнейшие, более детальные исследования этих объектов, в том числе фотометрические и спектроскопические наблюдения с высоким спектральным разрешением. С их помощью можно было бы определить класс светимости объектов, а также оценить степень влияния межзвездного поглощения. Нам представляется очень важным также проведение аналогичных исследований для остальных молодых объектов этой области, чему будет посвящена одна из последующих работ авторов.

Авторы с благодарностью отмечают помощь А.А.Карпетяна при обработке соответствующих файлов Паломарских обзоров.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им.В.А.Амбарцумяна, Армения

BRIGHTNESS VARIATION AND PROPER MOTIONS FOR THREE OBJECTS IN THE CYGNUS AREA

H.A.HARUTYUNIAN, N.D.MELIKIAN

Results of investigation of three objects in the Cygnus area are presented. One of those objects was known to be a HH object. Second one is likely to be a T Tau star according to its observational characteristics. The physical nature of last one is not completely clear yet. However likely that it is a T Tau star as well proceeding from its Near infrared emission properties. Proper motions of the objects have been measured. It is shown that all of three objects are members of a Trapezium type close system and to all appearance they are results of a consecutive fragmentation of some primary pre-stellar body.

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.Reipurth*, A General Catalog of HH Objects, Elec.Published, 1999.
2. *D.Devine*, *J.Bally*, *B.Reipurth*, *D.Shepherd*, *A.Watson*, *Astron. J.*, 117, 2919, 1999.
3. *D.Devine*, *B.Reipurth*, *J.Bally*, *T.J.Balonek*, *Astron. J.*, 117, 2931, 1999.

4. *G.H.Herbig*, *Astrophys. J.*, 111, 11, 1950.
5. *G.H.Herbig*, *Astrophys. J.*, 113, 697, 1951.
6. *G.Haro*, *Astrophys. J.*, 115, 572, 1952.
7. *В.А.Амбарцумян*, *Сообщ. БАО*, 13, 1954.
8. *B.Reipurth, J.Bally, D.Devine*, *Astron. J.*, 114, 2708, 1997.
9. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян, Л.Г.Ахвердян, А.Ц.Карапетян*, *Астрофизика*, 39, 217, 1996.
10. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, *Астрофизика*, 44, 265, 2001.
11. *N.D.Melikian, A.A.Karapetian*, *Astron. Astrophys.*, 2001 (представлена).
12. *Д.С.Хавтасси*, *Атлас Галактических Темных Туманностей*, Абастуманская Астрофиз. Обсерв., Грузия, 1960.
13. *P.T.de Zeeuw, R.Hoogerwerf, J.H.J.de Bruijne, A.G.A.Brown, A.Blaauw*, *Astron. J.*, 117, 354, 1999.
14. *T.A.Movsessian, J.-L.Gach, F.Zhamkochian, J.Boulesteix*, "JENAM -2000" May 29 - June 3, Abstracts, Moscow, 2000, p.179.
15. *W.A.Hiltner*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2, 389, 1956.
16. *K.H.Schmidt*, *Astron. Nachr.*, 284, 76, 1958.
17. *В.А.Амбарцумян*, *Сообщ. БАО*, 15, 1954.
18. *В.А.Амбарцумян*, *Научные труды*, т.1, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1960, стр.142.
19. *O.J.Eggen*, *Astrophys. Space, Sci.*, 142, 145, 1988.