

УДК: 524.63

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗДНОГО КОМПЛЕКСА ПЕТЛИ III

И. А. ЗЕНИНА

Поступила 22 мая 1990

Принята к печати 20 августа 1990

Исследуются кинематические характеристики 840 В- и А-звезд области Петли III. Существование звездной составляющей Петли III, ранее обнаруженное по повышенной звездной плотности и спектральному составу звезд, подтверждено кинематическими методами. Выделено семь звездных групп, принадлежащих комплексу Петли III. Для них посчитаны параметры распределения скоростей звезд. Обнаружены расходящиеся пары звездных потоков вдоль оболочки Петли III.

1. Исследования последних лет дают основание рассматривать галактические петли (или шпурсы) как примеры еще одного типа звездных систем в Галактике — оболочечных структур радиусом около 100 пк, массой $10^5 \div 10^6 M_{\odot}$, с плотным ядром, состоящим из гигантского молекулярного облака (ГМО) и звездной ассоциации, и оболочкой из газа, пыли и звезд. Между оболочкой и ядром наблюдается некоторое разряжение газопылевой материи и уменьшение плотности звезд.

Четыре таких оболочки находятся вблизи Солнца, в пределах Местной системы. Первоначально они были обнаружены по интенсивному излучению в радиоконтинууме [1, 2], затем по рентгеновскому излучению [3], а недавно и по гамма-излучению [4].

Предметом нашего исследования является поиск и всестороннее обоснование существования звездной составляющей петель, а конкретно — Петли III, расположенной вблизи северного полюса мира в положительных галактических широтах, на долготе $80^{\circ} < l < 170^{\circ}$. В нашей предыдущей работе [5] приводились результаты статистического анализа звездных характеристик в области Петли III, которые указывают на существование связанного с ней звездного комплекса. Он выделяется на основании повышенной звездной плотности в области оболочки петли, а также в ее центре, и, кроме того, своим спектральным составом — избытком А-звезд.

Во многих участках вдоль гребней Петли III поверхностная плотность звезд выше средней на той же широте в $1.5 \div 2$ раза и превышает величину случайной флуктуации. Причем показано, что поглощение в этих областях мало и не может объяснить указанных аномалий. Коэффициент корреляции между плотностью А-звезд и интенсивностью непрерывного радиоизлучения колеблется в пределах $0.5 \div 0.7$. Аналогичные результаты получены еще раньше Анисимовой для Петли I [6, 7].

Концентрация звезд к радиошпурам не столь сильная, как к Млечному Пути, но сравнима с концентрацией к Поясу Гулда. Собственно, отдельные участки этого пояса относятся и к оболочкам [8]. Еще в большей степени к частям оболочек относится еще один пояс в Местной системе, открытый Вокулером [9] и Долидзе [10]. Кроме концентраций звезд и газа, лежащих на этих поясах, нами отмечены и другие — лежащие вдоль оболочек [8]. Кроме того, как в Петле III [5], так и в Петле I [7] во внутренних их областях между оболочкой и ядром обнаружены полосы очень низкой плотности звезд. Результаты исследования звездного комплекса Петли III статистическими методами подробно обсуждаются в наших предыдущих работах [5, 8].

Представляет большой интерес вопрос исследования кинематических характеристик звезд, предположительно входящих в звездный комплекс Петли III, то есть, получение и анализ параметров распределения скоростей звезд, выявление звездных групп, имеющих близкие между собой по величине и направлению собственные движения. Можно ожидать наличия звездных потоков и некоторой упорядоченности движений. Изучение кинематики звезд комплекса Петли III подтверждает эти предположения.

Задача изучения кинематики звезд оболочек является весьма громоздкой из-за огромных угловых размеров этих систем. Так, например, Петля III (не самая большая) имеет угловой диаметр $\sim 70^\circ$. Ясно, что на таких площадях находится огромное количество звезд. Для изучения кинематики необходимо иметь достаточно точные данные о движениях если не всех звезд, то хотя бы представительных выборок.

2. Для решения задачи обнаружения звездных групп, принадлежащих комплексу Петли III, была сделана выборка из каталога SAO [11] всех В- и А-звезд в области Петли III $70^\circ < l < 180^\circ$, $-30^\circ < b < +70^\circ$, для которых известны лучевые скорости v_R и классы светимости. Для них были посчитаны фотометрические расстояния R по стандартной формуле для модуля расстояния $V-M = 5 \lg R + A$, где абсолютные звездные величины M определялись по калибровке ($M, SpMK$) из [12], а величины межзвездного поглощения A в рассматриваемой области взяты из нашей предыдущей работы [5], где оно подробно исследуется (величины эти невелики — в среднем $0.^m1$, и лишь редко превышают $0.^m3$). Еще для части звезд (не более 10% выборки), предположительно входящих в ком-

плекс, но для которых неизвестен класс светимости, этот класс оценивался по статистической зависимости величины собственного движения звезды от ее видимой звездной величины и класса светимости, построенной по звездам данного спектрального класса с известными классами светимости. В последующих расчетах рассматривались только звезды, расстояния до которых не превышают $R = 300$ пк, то есть, находящиеся в объеме Петли III. В результате была получена выборка из 840 звезд, и для них подсчитаны кинематические характеристики. Собственные движения и лучевые скорости звезд для расчетов взяты из каталога SAO [11]. Расчеты производились на ЭВМ ЕС-1022.

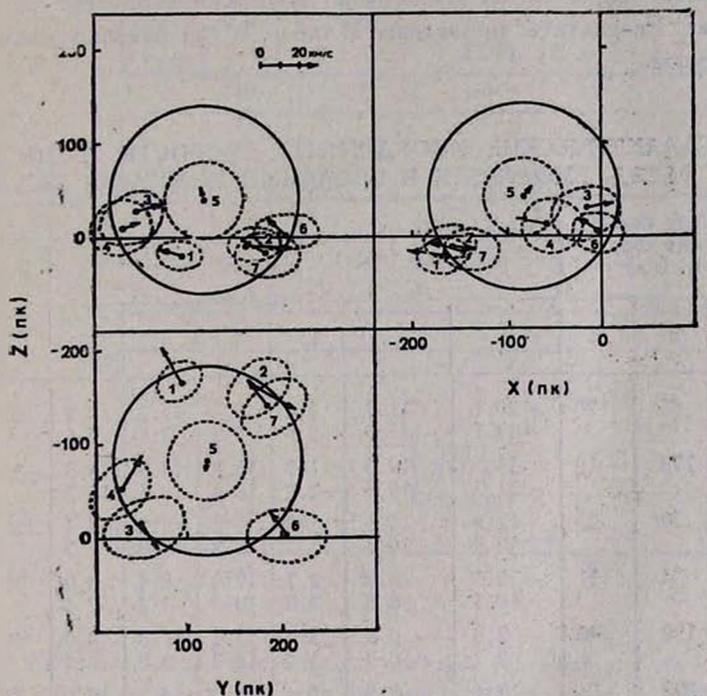


Рис. 1. Расположение и средние движения 7 групп звезд звездного комплекса Петли III в проекциях на плоскости Zx , Zy и xu . Пунктирными линиями отмечены границы групп, сплошной — малый круг Петли III.

Были рассчитаны составляющие пространственной скорости звезд выборки в галактической системе координат (u, v, w) с исключением составляющих основного движения Солнца и галактического вращения (с параметрами $A = 0.015$ км/с пк, $B = -0.01$ км/с пк), а также положение каждой звезды в пространстве в системе галактических координат x, y, z . Положения и пространственные скорости звезд выборки рассматривались в

проспекциях на плоскость Галактики и в двух перпендикулярных плоскостях, делались срезы на разных z и даже под некоторым углом к плоскости (x, y). С их помощью установлено, что большинство звезд выборки распадается на пространственно обособленные группы, каждая из которых имеет собственное, отличное от других движение. Все группы (рис. 1) вытянуты по лучу зрения, что, очевидно, связано с ошибками в расстояниях части звезд. Если ориентироваться по наиболее плотным частям, то группы локализованы в оболочке и одна группа — в ядре Петли III.

Для каждой группы были рассчитаны средние галактические скорости (u, v, w), которые отражают общее движение группы относительно локального центроида, а также вычислены дисперсии скоростей по каждой из координат. Результаты приведены в табл. 1, где указано число звезд в каждой группе.

Таблица 1

СРЕДНИЕ ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ, СКОРОСТИ И ДИСПЕРСИИ
7 ГРУПП ЗВЕЗД, ВХОДЯЩИХ В ЗВЕЗДНЫЙ КОМПЛЕКС ПЕТЛИ III

Группа	Средние галактические координаты, (пк)			Средние галактические скорости (км/с)			Дисперсии скоростей (км/с)			Число звезд в группе	Диаметр группы (пк)
	x	y	z	u	v	w	σ_u	σ_v	σ_w		
1	-165	94	-20	-20.1 -19.7	-11.7 -11.5	2.8 3.6	8.8 7.8	11.1 7.6	9.7 7.6	60	40
2	-160	173	-10	11.5 11.7	19.5 19.4	-1.7 -2.1	15.8 10.4	14.8 10.5	14.8 10.2	45	50
3	-18	50	30	12.9 12.9	10.5 10.5	1.8 1.7	9.2 8.3	9.2 8.8	8.3 7.7	152	60
4	-55	34	11	-18.5 -18.5	8.8 8.8	2.7 2.8	12.0 10.9	8.4 7.4	8.0 7.4	72	65
5	-82	120	40	2.8 2.7	-0.9 -0.9	5.7 5.4	15.2 12.7	11.8 9.8	8.0 6.4	49	80
6	-2	200	0	-10.4 -10.1	-8.8 -8.9	7.4 7.7	8.8 6.5	4.7 2.9	10.0 9.5	34	70
7	-142	185	-17	-14.3 -14.0	-11.1 -10.6	5.6 5.8	11.4 7.0	12.8 8.2	11.2 7.7	33	50

Для каждой из рассматриваемых 7 групп были построены гистограммы распределения u, v, w -скоростей. Пример такого распределения для группы I приведен на рис. 2 (штриховой линией). Было проведено статистическое исправление всех полученных распределений за влияние случайных ошибок по методике, описанной у Локтина [13]. Пример исправленного распределения для группы I приведен на рис. 2 сплошной линией,

а исправленные значения скоростей (\bar{u} , \bar{v} , \bar{w}) и их дисперсий для всех рассматриваемых групп даны в табл. 1 во вторых строчках, откуда видно, что введение поправок за случайные ошибки существенно уменьшило величины дисперсии скоростей в группах на $2\div 4$ км/с при незначительном изменении величин средних скоростей \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} .

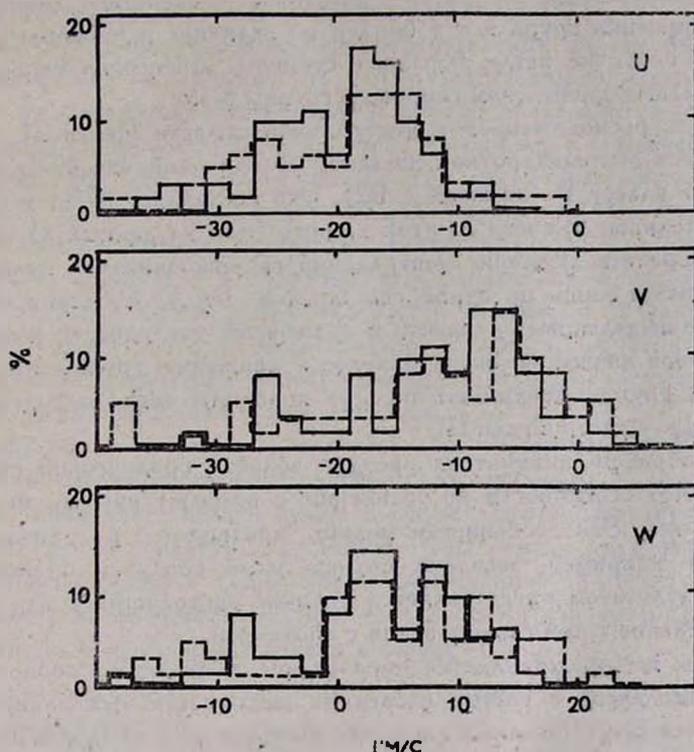


Рис. 2. Гистограммы распределения u , v , w -скоростей звезд для группы 1 (α Per). Штриховой линией показаны исходные распределения; сплошной — распределения, полученные после внесения поправок за случайные ошибки.

Группу I образуют звезды рассеянного звездного скопления α Per. Данные о кинематических характеристиках звезд этой группы, возможно, являются более точными, чем для других групп, поскольку это скопление специально изучалось многими авторами. Поэтому его можно рассматривать как некоторый эталон для остальных групп.

Сразу можно заметить соседнюю с группой α Per группу 2. Она так же, как и группа 1 находится близко от галактической плоскости, и ее вектор среднего собственного движения близок по величине и почти диаметрально противоположен вектору группы α Per. Однако разброс собствен-

ных движений в группе 2 несколько выше, чем в группе 1, и дисперсия соответственно в 1.5 раза больше по всем координатам. Возможно, это связано с несколько большими ошибками в данных по собственным движениям.

Еще одну пару составляют группы 3 и 4, расположенные в ближней к Солнцу части оболочки Петли III, почти вплотную друг к другу, и разделенные наклонной (к плоскости Галактики) плоскостью. Векторы собственного движения групп 3 и 4 близки по величине и направлены по касательной к оболочке петли в разные стороны. Дисперсии скоростей невелики и близки к дисперсиям скоростей группы α Пер.

Группа 5, расположенная в центральной области Петли III, по-видимому, является высокоширотной звездной ассоциацией. Из 49 ее звезд 18 принадлежат классу В (начиная с В2). Это составляет 37%, в то время как доля остальных В-звезд на этой широте (или на данных z) не превышает 17%. Среднее движение центральной группы близко к нулю, а дисперсия скоростей лишь по одной оси больше, чем у скопления α Пер.

Еще две выделенные группы, 6 и 7, меньшей численности имеют среднее собственное движение, очень близкое к движению группы α Пер. Описанные семь групп объединяют больше половины всех рассматриваемых В- и А-звезд в области Петли III.

Таким образом, кинематика звезд в области оболочечной структуры Петли III имеет особенности по сравнению с промежуточными между петлями областями. Эти особенности можно предвидеть из динамических соображений, например, звездные потоки вдоль оболочки. Наиболее интересным результатом представляется наличие расходящихся пар потоков, как бы разделенных при столкновении с оболочкой.

3. Каким же представляется образование и динамика оболочек и их звездных комплексов с учетом последних наблюдательных данных? Очевидно, что для существования звездных комплексов в оболочечных структурах должен выполняться ряд условий: звезды должны либо образовываться в оболочке, либо попадать в нее массовым порядком и впоследствии удерживаться некоторой центральной силой. Такую силу могут обеспечивать гигантские молекулярные облака (ГМО) с массами $10^5 \div 10^6 M_{\odot}$, недавно обнаруженные в ядрах оболочек, совместно с порожденными ими звездными ассоциациями. В Петле I это ассоциация Sco-Cep [7]; для Петли III ситуация более сложная: возможно, это ассоциация α Пер [14], расположенная на пересечении Петель II и III. В направлении центральной области Петли III известны два ГМО — S 174 ($l = 120^\circ$, $b = 19^\circ$ и диаметром $10'$) и S 178 ($l = 125^\circ$, $b = 25^\circ$ и диаметром $420'$) по каталогу [15]. И хотя нет пока достоверных данных о расстояниях до них, логично предположить, что какое-либо из них может являться центральным объектом Петли III.

Есть основания полагать, что ГМО не только удерживает материал оболочки, но и участвовало в ее образовании. Согласно современным представлениям [16, 17], оболочечные структуры этого типа образуются из газа, выброшенного из ГМО звездным ветром и взрывом SN в центральной ассоциации, а в процессе расширения пополняются газом, сгребенным на пути расширяющейся оболочкой. В дальнейшем в затормозившейся газовой оболочке возникает гравитационная неустойчивость, газ фрагментируется, и рождается поколение звезд в оболочке.

Кроме того, при рассмотрении распределения рассеянных звездных скоплений (РЗС) в окрестностях Солнца Шацовой и Анисимовой [18] замечено их фактическое отсутствие в объеме пространства, занятом петлями, и наличие значительного их числа на границах оболочек. Создается впечатление, что ГМО создает вокруг себя «охранную зону», не впуская в нее РЗС. Такая картина будет наблюдаться, если РЗС, приблизившиеся к ГМО на расстояния порядка приливного радиуса (~ 100 пк), будут разрушаться, превращаясь в движущиеся скопления, присоединившись к звездам оболочки. Этим можно объяснить наличие в звездных комплексах оболочечных структур звезд разного возраста. Особенности кинематики Петли III, а именно — наличие расходящихся пар потоков, также могут служить подтверждением этой гипотезы.

Таким образом, анализ кинематических характеристик В- и А-звезд Петли III в совокупности со статистическим анализом ее звездного населения [5] позволяет сделать вывод о существовании звездного комплекса этой оболочечной структуры, состоящего из звезд разного возраста и спектральных классов с повышенным содержанием А-звезд.

В работе использовались копии каталогов, сделанные в Центре астрономических данных Астрономического совета АН СССР.

Ростовский государственный
педагогический институт

KINEMATICAL CHARACTERISTICS LOOP'S III STELLAR COMPLEX

I. A. ZENINA

The kinematical characteristics of 840 B—and A—stars in the region of the Loop III has been investigated. The existence of Loop's III stellar component, discovered before owing to the higher star density and its spectral composition, is confirmed by the kinematical methods. Seven groups of stars belonging to the Loop's III stellar complex are picked out. The parameters of the star's velocities distribution for group₁ are calculated. Several pairs of the star's streams along the Loop's II covering are discovered.

ЛИТЕРАТУРА

1. *E. M. Berkhuijsen*, *Astron. and Astrophys.*, 14, 359, 1971.
2. *E. M. Berkhuijsen*, *Astron. and Astrophys.*, 24, 143, 1973.
3. *Y. Tanaka, J. A. M. Blecker*, *Space Sci. Rev.*, 20, 815, 1977.
4. *J. B. G. M. Bloemen*, „Kinematica. Dynamics and Structure of the Milky Way“, ed. *W. L. H. Shuter*, 1983, p. 105.
5. *И. А. Зенина*, ВИНТИ № 952—84, Деп., 37, 1984.
6. *Г. Б. Анисимова*, ВИНТИ № 3059—83, Деп., 112 стр., 1983.
7. *Г. Б. Анисимова*, в сб. «Вопросы астрофизики», Саранск, 1984, стр. 25.
8. *Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимова, И. А. Зенина*, *Астрофизика*, 30, 495, 1989.
9. *G. Vaucouleur*, *Vistas Astron.*, 2, 1584, 1956.
10. *М. В. Долидзе*, Письма в Астрон. ж., 6, 92, 1980.
11. *Smithsonian Astrophysical Observatory Catalogue of 258997 Stars with Astrophysical Data*, Washington, 1980.
12. *W. A. Deutschman, R. J. Davis, R. E. Schild*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 30, 97, 1976.
13. *А. В. Локтин*, в сб. «Звездные агрегаты», Свердловск, 1980, стр. 139.
14. *H. Weaver*, „The Large-scale Characteristics of the Galaxy“, ed. *W. B. Barton*, IAU, 295, 1977).
15. *L. Blitz, M. Fich, A. L. Stark*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 49, 183, 1982.
16. *C. Helles*, *Astrophys. J.*, 229, 533, 1979.
17. *C. Helles*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 55, 585, 1984.
18. *Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимова*, в сб. «Вопросы небесной механики и звездной динамики», Алма-Ата, 1990, стр. 160.