

УДК 524.4—32

О комплексах рассеянных звездных скоплений

К. А. Бархатова, С. А. Кутузов, Л. П. Осипков

Исследовано орбитальное движение 69 рассеянных скоплений с известными расстояниями и пространственными скоростями. Гравитационное поле Галактики описывается предложенной ранее моделью. На основе близости координат и остаточных скоростей выявлено 11 комплексов, включающих 51 скопление. Некоторые комплексы имеют признаки систематических внутренних движений. Большинство комплексов образует плоскую вращающуюся систему. Рассмотрена связь комплексов с молекулярными облаками.

ON SOME COMPLEXES OF GALACTIC CLUSTERS, by Barkhatova K. A., Kutuzov S. A., Osipkov L. P.— The orbital motion of 69 galactic clusters with known distances and space velocities is investigated. The gravitational field of the Galaxy is described by the model suggested earlier. The existence of 11 complexes which include 51 clusters is revealed on the basis of proximity of coordinates and residual velocities. Certain complexes indicate the systematic intrinsic motions. Most of the complexes form a flat rotating system. The connection of the complexes with molecular clouds is discussed.

Введение. На основании всего опубликованного наблюдательного материала составлен каталог [2], в котором приведены наилучшие оценки гелиоцентрических расстояний r , собственных движений и лучевых скоростей 69 рассеянных скоплений, а также их возраст τ . Ошибки лучевых скоростей — от 1 до 5 км/с (в среднем 2.3 км/с), а компонентов собственных движений — в среднем 0.0015"/год. По этим исходным данным вычислены галактоцентрические координаты X, Y, Z (ось X направлена от центра Галактики, ось Y — в направлении ее вращения, ось Z — к северному полюсу Галактики); компоненты остаточных пространственных скоростей V_R, V'_θ, V_Z ; галактоцентрическая скорость V_0 в направлении вращения; расстояние от оси вращения Галактики R ; интегралы энергии и площадей E, H ; пери- и апогалактические координаты R_p, Z_p и R_a, Z_a вершин контура орбиты скопления, лежащие на кривой нулевой меридиональной скорости; орбитальный эксцентриситет e ; сплюснутость контура c . В [2] описан также метод расчета орбит. Дополнительно нами вычислены полные остаточные скорости $V = (V_R^2 + V_\theta'^2 + V_Z^2)^{1/2}$. В табл. 1 приведены данные о некоторых известных скоплениях.

При анализе полученных результатов обращают на себя внимание большие остаточные скорости как у старых, так и у очень молодых скоплений. Так, из табл. 1 видно, что скопления NGC 2420 и NGC 3603 имеют исключительно большие остаточные скорости, значительные эксцентриситеты, хотя и относятся к разным возрастным группам и имеют сильно различающиеся координаты Z . Большой эксцентриситет скопления NGC 3603 может быть результатом неуверенно определенных исходных данных.

Распределение рассматриваемых скоплений не однородное. На основании изучения пространственного расположения скоплений, их лучевых скоростей, собственных движений, расстояний, остаточных пространственных скоростей V_R, V'_θ и V_Z удалось подтвердить вероятность существования обнаруженных ранее [3] групп, состоящих из

Таблица 1. Характеристики некоторых рассеянных скоплений

Скопление	$\lg \tau$ (τ , год)	e	Z , кпк	V_R , км/с	V'_θ , км/с	V_Z , км/с	V , км/с	Z_a , кпк
NGC 188	9.70	0.10	0.57	-25	+5	-31	41	0.89
NGC 884	6.50	0.13	-0.10	-28	+12	+47	56	1.05
Hyа	8.82	0.12	-0.01	+36	-6	+1	37	0.02
NGC 2632	8.82	0.11	0.09	+27	-11	0	29	0.10
NGC 2420	9.60	0.34	0.98	+92	-6	+8	93	1.32
NGC 2548	8.48	0.20	0.15	-57	-9	+21	61	0.38
NGC 2682	9.51	0.09	0.45	+16	-14	-4	22	0.46
NGC 3606	7	0.37	-0.02	-114	-1	-26	117	0.42

двух и более скоплений. По сравнению с работой [3] общее число скоплений увеличилось до 69 за счет привлечения нового материала. Таких групп, или комплексов, оказалось 11. К ним мы отнесли 51 скопление. Эти комплексы находятся в окружении других скоплений, часть которых, возможно, также входит в комплексы. К сожалению, мы не располагаем наблюдательными данными относительно движения этих скоплений. Поэтому уверенно утверждать, что они относятся к тому или иному комплексу, нельзя.

Комплексы скоплений. В настоящее время понятие «звездный комплекс» употребляется довольно широко [4]. Попытаемся точнее определить его. Звездный комплекс — это группа, которая включает в себя звезды, рассеянные скопления, молекулярные облака. Члены комплекса могут составлять динамически связанную систему и иметь общее происхождение.

Таблица 2. Комплексы рассеянных скоплений

Скопление	<i>r</i> , кпк	$\lg \tau$ (τ , год)	<i>X</i> , кпк	<i>Y</i> , кпк	<i>Z</i> , кпк	V_R , км/с	V_{θ} , км/с	V'_{θ} , км/с	V_Z , км/с	<i>e</i>
Комплекс I										
1. NGC 457	1.76	7.05	9.24	1.41	-0.12	-1	200	-14	+47	0.05
2. NGC 581	1.58	7.35	9.17	1.24	-0.04	-22	216	+2	+30	0.08
3. Tr 1	1.69	7.41	9.24	1.33	-0.02	-36	196	-17	+25	0.15
4. NGC 663	1.58	7.35	9.20	1.22	-0.02	-16	220	+7	+10	0.07
5. NGC 869	1.52	6.75	9.27	1.08	-0.09	-18	210	-4	+39	0.07
6. NGC 884	1.72	6.50	9.42	1.21	-0.10	-28	225	+12	+47	0.13
7. IC 1805	1.59	6.12	9.32	1.13	0.03	-34	232	+18	-13	0.16
8. NGC 1502	0.85	7.30	8.88	0.50	0.12	-21	221	+7	+33	0.08
9. NGC 129	1.30	8.18	8.85	1.12	-0.05	+3	225	+11	+4	0.06
Комплекс II(a)										
1. NGC 752	0.38	9.04	8.46	0.24	-0.14	+7	210	-5	-14	0.03
2. NGC 1039	0.41	8.29	8.52	0.23	-0.10	-7	203	-12	-18	0.06
3. IC 348	0.23	8.10	8.41	0.07	-0.06	+18	226	+11	-3	0.08
4. NGC 2232	0.36	7.35	8.48	-0.20	-0.04	-3	226	+11	-11	0.06
5. NGC 2451	0.36	7.56	8.31	-0.34	-0.03	+10	213	-3	-18	0.04
6. NGC 2516	0.36	8.03	8.18	-0.34	-0.09	-8	203	-13	+15	0.07
7. Tr 10	0.38	7.67	8.25	-0.38	+0.01	-13	210	-6	-24	0.05
8. IC 2602	0.15	7.56	8.15	-0.14	-0.01	-12	202	-14	+6	0.08
9. NGC 6633	0.30	8.78	7.96	0.17	0.05	+14	215	-2	+10	0.05
10. Cr 399	0.12	8.30	8.13	0.10	0.01	+4	198	-18	+4	0.09
Комплекс II(b)										
11. IC 2391	0.15	7.56	8.20	-0.14	-0.01	+5	215	-1	+1	0.02
12. Cr 140	0.35	7.35	8.34	-0.32	-0.04	+1	218	+2	0	0.01
13. NGC 3532	0.41	8.30	8.06	-0.39	0.02	-4	214	-2	-1	0.02
14. α Per	0.17	7.71	8.34	0.09	-0.01	+6	204	-11	+6	0.06
15. M 45	0.13	7.89	8.31	0.03	-0.04	-3	204	-12	-5	0.06
16. Mel 111	0.08	8.60	8.21	-0.01	0.09	-7	220	+4	+6	0.03
17. IC 4756	0.40	8.82	7.88	0.23	0.05	+10	216	0	-2	0.03
18. IC 4665	0.31	7.69	7.94	0.15	0.10	+1	213	-3	+7	0.01
Комплекс III										
1. NGC 6866	1.20	8.36	7.98	1.17	0.15	+3	182	-34	+7	0.16
2. NGC 6871	1.30	7	7.81	1.24	0.06	+21	209	-8	+5	0.08
3. NGC 4996	1.21	7	7.89	1.17	0.04	+2	198	-18	+4	0.09
4. NGC 6910	1.25	7	7.95	1.23	0.05	-2	193	-24	+6	0.11
5. NGC 6913	1.00	7	7.99	0.98	0.03	+13	199	-17	-13	0.09
Комплекс IV										
1. NGC 1907	1.41	8.70	9.60	0.18	0.02	0	220	+8	-5	0.04
2. NGC 1960	1.19	7.40	9.38	0.11	0.03	-10	220	+7	+13	0.05
Комплекс V										
1. NGC 6611	1.74	7	6.54	0.51	0.03	-6	250	+33	+4	0.15
2. NGC 6705	1.61	7.88	6.77	0.74	-0.07	-5	235	+19	-8	0.09
3. NGC 6694	1.44	7.95	6.88	0.58	-0.07	+7	231	+14	+19	0.07

Скопление	r , кпк	$\lg \tau$ (τ , год)	X , кпк	Y , кпк	Z , кпк	V_R , км/с	V_{θ} , км/с	V'_{θ} , км/с	V_Z , км/с	e	
Комплекс VI											
1. NGC 1980	0.40	7	8.53	-0.19	-0.13	+13	219	+4	-4	0.05	
2. Тгp	0.32	7	8.46	-0.15	-0.10	+9	218	+3	+1	0.03	
Комплекс VII											
1. Сr	121	0.48	7.10	8.47	-0.39	-0.08	+3	208	-8	-6	0.04
2. NGC 2422	0.48	7.89	8.50	-0.37	+0.03	+15	203	-13	-20	0.08	
3. NGC 2287	0.60	8.29	8.57	-0.46	-0.10	-2	205	-10	-24	0.04	
Комплекс VIII											
1. NGC 2244	1.15	6.48	9.23	-0.51	-0.03	+6	208	-6	-23	0.03	
2. NGC 2264	0.84	7.30	8.97	-0.33	+0.04	+13	213	-2	-20	0.04	
Комплекс IX											
1. NGC 6709	0.83	7.81	7.59	0.56	0.08	+6	207	-10	-4	0.05	
2. NGC 6882	0.56	8.00	7.97	0.52	-0.03	+5	205	-11	+16	0.06	
3. NGC 6885	0.56	—	7.97	0.52	-0.03	+2	208	-9	-2	0.04	
Комплекс X											
1. Нya	0.04	8.82	8.24	0.00	-0.01	+36	210	-6	+1	0.12	
2. NGC 2632	0.16	8.82	8.32	-0.06	0.09	+27	205	-11	0	0.11	
Комплекс XI											
1. NGC 6823	1.58	7	7.40	1.36	0.00	-36	203	-14	+26	0.13	
2. NGC 6830	1.30	7.2	7.55	1.13	-0.03	-15	217	0	+40	0.05	
Скопления, предположительно входящие в систему комплексов											
1. NGC 6231	1.20	7	7.05	-0.34	0.03	+8	207	-10	-12	0.05	
2. NGC 6530	1.26	6.3	6.95	0.14	-0.02	+1	194	-23	-44	0.09	
3. NGC 7.80	1.30	6.6	8.58	1.20	-0.01	-15	203	-12	+33	0.07	

Таблица 3. Возможные члены комплекса I

Скопление	V_R , км/с	r , кпк	$\lg \tau$ (τ , год)
NGC 957	-36	1.58	7.19
NGC 654	-31	1.74	6.18
IC 1848	-22	1.70	6.00
NGC 637	-48	2.10	—

Данные о выделенных нами комплексах рассеянных скоплений приведены в табл. 2, основанной на материалах работы [2]. Наиболее интересна группа молодых скоплений, окружающая двойную систему NGC 869—884 (комплекс I). Обращают на себя внимание большие остаточные скорости V_R у скоплений NGC 581, 663, 1502, 869, 884, IC 1805, Тг 1. Большими оказались V_Z у скоплений NGC 457, 581, 663, 869, 1502, Тг 1. Принадлежность к комплексу скопления NGC 129 сомнительна (для решения этого вопроса необходимо дальнейшее уточнение его собственного движения).

По лучевым скоростям и расстояниям к комплексу I, возможно, относятся скопления, представленные в табл. 3. Безусловно, этот список неполный. К комплексу, возможно, принадлежит еще несколько десятков скоплений, но уверенно утверждать это нельзя, так как нет наблюдательных данных относительно V_r , μ , r этих скоплений.

На рисунках 1, 2 изображены все комплексы (кроме комплекса II) в проекциях на плоскости XU и XZ . Видно, что скопления комплекса I в основном движутся к центру Галактики, о чем свидетельствуют отрицательные значения V_R . Среднее значение V_R комплекса составляет -19 км/с. Все скопления (кроме NGC 1502) движутся к галактической плоскости со средней скоростью $|\bar{V}_Z|=27$ км/с. Скорость \bar{V} составляет 42 км/с. Эксцентриситеты значительны лишь у скоплений Тг 1 ($e=0.15$), NGC 884 ($e=0.13$), IC 1805 ($e=0.13$). Размеры всего комплекса не менее 500 пк.

В [1] сделана попытка исследовать движения внутри комплекса в регулярном гравитационном поле Галактики, при этом обнаружено, что его конфигурация со временем изменяется, в прошлом и будущем он расплывается в галактическом фоне.

В области скопления Плеяды находится большая группа скоплений с малыми остаточными скоростями, малыми координатами Z и почти одинаковыми эксцентриситета-

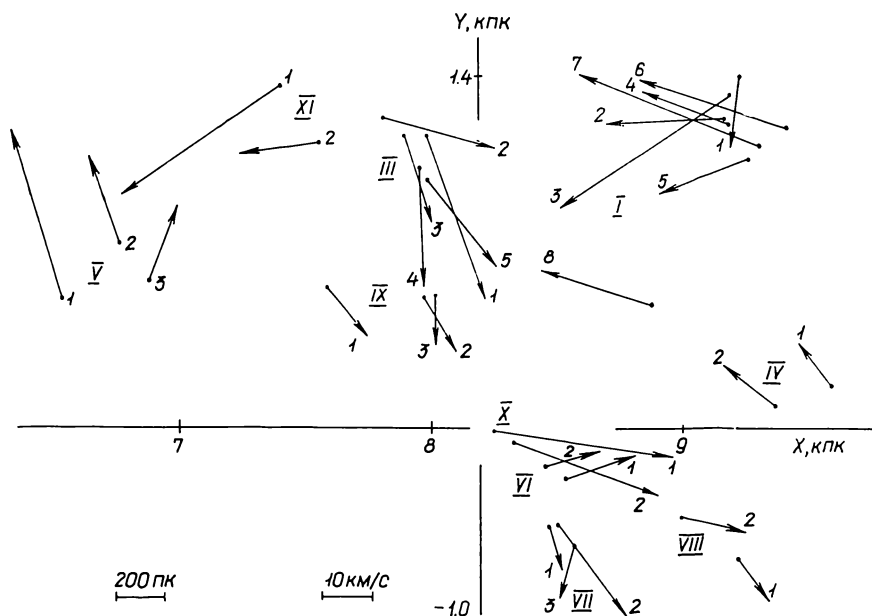


Рис. 1. Положение комплексов в плоскости XY и направление векторов скоростей

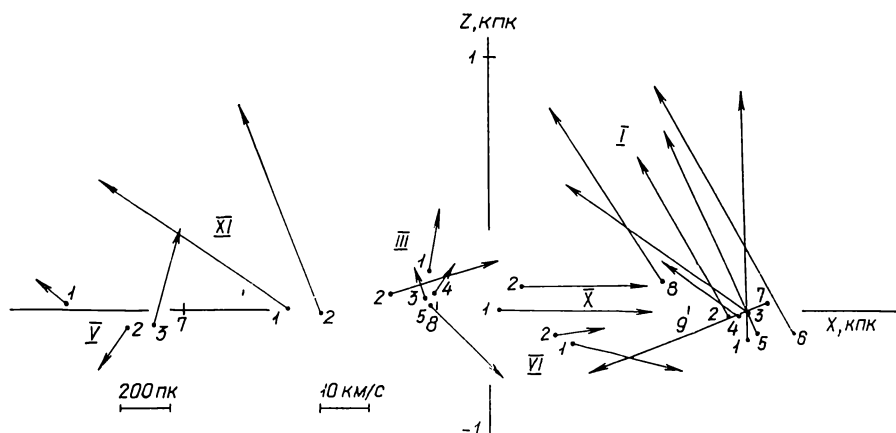


Рис. 2. Положение комплексов в плоскости XZ и направление векторов скоростей

ми (рис. 3). Возможно, что эта группа скоплений образует единый связанный общностью происхождения комплекс II.

В зависимости от остаточной скорости комплекс II можно разделить на две группы: II (а) — с полной остаточной скоростью $V > 14$ км/с и II (б) — с остаточной скоростью $V < 14$ км/с. В группе II (а) можно заметить признаки вращательного или вихревого движения в плоскости XY и расширения в плоскости XZ . Интересно отметить, что α Пер и Плеяды (М 45) перемещаются в диаметрально противоположные стороны в плоскости XZ , а в плоскости XY их движения довольно согласованы. Средняя остаточная скорость \bar{V} комплекса II (а) составляет 19, а комплекса II (б) — 9 км/с.

По направлению остаточных скоростей V_R , V'_θ , V_Z в комплексе II можно выделить четыре группы: 1 — скопления NGC 1039, 3532, Tr 10, M 45; 2 — NGC 2516, IC 2602, Mel 111; 3 — NGC 752, 2451, IC 4756; 4 — скопления α Per, IC 2391, 4665, NGC 6633, Cr 140, 399. Скопления NGC 2232 и IC 348 не вошли в эти группы из-за различия

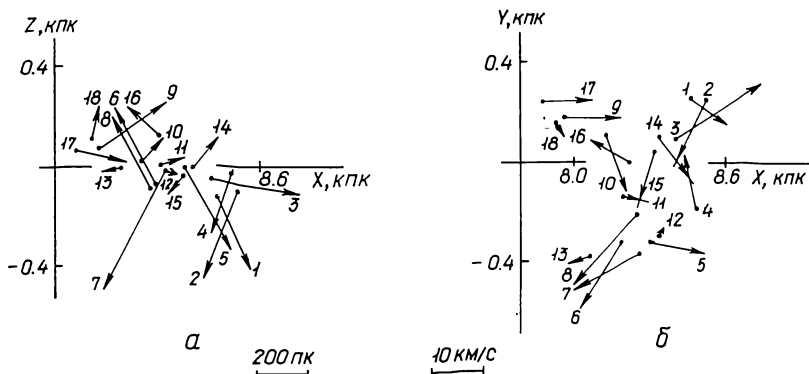


Рис. 3. Положение комплекса II в плоскостях XZ (а) и XY (б)

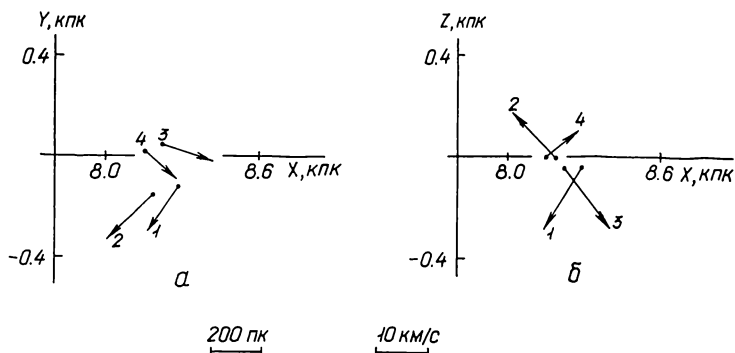


Рис. 4. Положение центров групп комплекса II и направление векторов скоростей в плоскостях XY (а) и XZ (б)

остаточных скоростей. Расстояния ($r < 400$ пк), лучевые скорости и собственные движения всех 16 скоплений определены достаточно надежно. Средние значения r , $\lg \tau$, X , Y , Z , V_R , V_θ , V'_θ , V_Z для всех четырех групп приведены в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что средние координаты групп почти одинаковы, их изменения не превышают 200 пк. На рис. 4 видно, что движения групп 1 и 2 в плоскости XY параллельны, а в плоскости XZ перпендикулярны. То же самое можно сказать и о группах 3, 4.

В целом создается впечатление, что Плеяды и другие близкие скопления образуют один комплекс II, размеры которого достигают 600 пк. Комплекс состоит из четырех сгущений, представляющих собой образования со сложной кинематикой (возможны вихревое движение в плоскости XY и расширение в плоскости XZ). Дальнейшего изучения требует проблема вращения комплекса II.

Таблица 4. Средние значения координат и скоростей для групп комплекса II

Группа	r , кпк	$\lg \tau$ (τ , год)	X , кпк	Y , кпк	Z , кпк	V_R , км/с	V_θ , км/с	V'_θ , км/с	V_Z , км/с
1	0.33	8.04	8.28	-0.14	-0.03	-7	208	-8	-12
2	0.20	8.06	8.18	-0.16	0.00	-9	208	-8	+9
3	0.38	8.47	8.22	+0.04	-0.04	+9	213	-3	-12
4	0.23	7.70	8.25	+0.01	+0.01	+5	210	-6	+5

В [6] приведены данные о скоплениях (Бланко 1, Сг 140, NGC 2451, 2516, 2547, Сг 173, IC 2391, Тг 10), которые, возможно, имеют общее происхождение; учитывались лучевые скорости, избытки цвета, расстояния, не учитывались собственные движения и, следовательно, распределение пространственных скоростей. По этой причине в выделенный нами комплекс не попала половина скоплений из [6], которые, возможно, принадлежат к нему. Мы считаем, что при отборе скоплений, образующих тот или иной комплекс, необходимо учитывать значения остаточных скоростей по трем координатным направлениям, а не только их расстояния или лучевые скорости.

Комплекс III содержит пять скоплений (табл. 2). В плоскости XU скопления имеют близкие движения в почти перпендикулярном оси X направлении со скоростью $V = 21$ км/с. Скорость V_0 в среднем составляет 196 км/с. Комплекс вытянут в направлении галактического вращения. Средние скорости $\bar{V}_R = 7$, а $\bar{V}_Z = 2$ км/с. В плоскости XZ скопления движутся в противоположных направлениях, и создается впечатление, что комплекс III разлетается (как и комплекс II). В области комплекса III расположены еще около 15 скоплений, но ничего определенного сказать об их принадлежности к комплексу нельзя.

К комплексу IV кроме скоплений NGC 1907, 1960 можно отнести NGC 1912 и, по-видимому, NGC 2099, а также еще семь скоплений, расположенных в этой области.

В области остальных комплексов имеется много скоплений, и некоторые из них, возможно, связаны с этими комплексами.

Следует отметить различие в возрасте компонентов комплексов (например, скоплений NGC 6611 и 6705), что, видимо, объясняется продолжительностью звездообразования. Скопления NGC 2632 (Ясли) и Гиады в плоскости XZ движутся совершенно параллельно. Они имеют одинаковые лучевые скорости, эксцентриситеты, диаграммы Герцшпрунга — Рессела, возраст, близкие пространственные скорости и движения от центра Галактики ($V_R = 32$ км/с). Очевидно, скопления образуют двойную систему. Пространственно скопления Ясли и Гиады находятся внутри комплекса II, но по сравнению с последним имеют большую остаточную скорость (более 30 км/с). Либо Гиады и Ясли в настоящее время случайно оказались внутри комплекса II (пронизывают его) и по происхождению не имеют ничего общего с этим комплексом, либо комплекс II возник одновременно с Гиадами и Яслями, но последние два скопления имели большую остаточную скорость и приблизительно через 10^7 лет покинут комплекс. Очевидно, из-за наличия остаточных скоростей комплекс II распадается, но в течение более продолжительного времени.

Как видно из рис. 1, все комплексы, кроме комплекса V, участвуют в общем вращательном или вихревом движении относительно центра с координатами $X = 8.50$ кпк, $Y = 0.54$ кпк, $Z = 0.01$ кпк. Они образуют единую связанную очень плоскую систему (наибольшее расстояние от плоскости Галактики составляет 150 пк). Расстояние между центром системы и Солнцем равно 600 пк.

Скопления NGC 6231, 6531, 7380 (и некоторые другие) хотя и не принадлежат к какому-либо комплексу, но, по-видимому, тоже участвуют в этом вращении и входят в систему комплексов.

Отметим также параллельность движения комплексов III и IX в плоскости XU и совпадение центров комплексов II и X. В плоскости XZ система комплексов, возможно, расширяется (рис. 2). Диаметр этой системы составляет 2000 пк.

Связь комплексов с молекулярными облаками. В [5] приведен каталог 242 комплексов молекулярных облаков, которые связаны с оптическими областями H II. Нами сопоставлены данные этого каталога молекулярных облаков с данными о комплексах звездных скоплений. Обнаружена связь между этими объектами. Приведем номера комплексов скоплений (согласно табл. 2) и номера тех комплексов молекулярных облаков (согласно [5, 7]), которые расположены внутри объема, занимаемого соответствующим комплексом, и имеют лучевые скорости, близкие к лучевым скоростям скоплений:

Комплекс скоплений	Молекулярные облака
I	173, 175, 177, 184, 190, 199
II	27, 31, 37, 67, 129, 137, 155, 160, 185, 202, 205, 220, 229, 238, 239, 245, 264, 265, 281
IV	242
V	34, 35, 41, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 54, 57
XI	86, 87

Несколько водородных облаков расположены в районе комплекса VIII.

Заключение. Проведенное исследование показывает необходимость разработки количественных критериев для выделения комплексов скоплений и выяснения их связи с гигантскими молекулярными облаками.

Таблица 5. Размеры комплексов в фазовом пространстве

Комплекс	ΔX , кпк	ΔY , кпк	ΔZ , кпк	ΔV_R , км/с	$\Delta V'_\theta$, км/с	ΔV_Z , км/с
I	0.57	0.91	0.24	39	36	60
II(a)	0.56	0.62	0.19	30	28	39
II(б)	0.46	0.62	0.14	17	16	12
III	0.18	0.26	0.12	23	27	20
IV	0.22	0.07	0.01	10	0	18
V	0.34	0.23	0.10	13	19	27
VI	0.07	0.04	0.03	4	1	5
VII	0.10	0.07	0.13	17	5	18
VIII	0.26	0.18	0.07	7	5	3
IX	0.38	0.04	0.11	4	3	20
X	0.08	0.06	0.10	9	5	1
XI	0.15	0.23	0.03	21	14	14

В табл. 5 приведены размеры комплексов в фазовом пространстве, которые вычислялись как размах выборки по каждой фазовой координате. Для бедных комплексов размеры меньше, что, в частности, отражает более строгий критерий отбора. Как неоднократно отмечалось, к комплексам могут принадлежать и другие скопления (кандидаты в члены комплекса) с неполными наблюдательными данными.

Несомненный интерес представляет выявление возможной связи комплексов со спиральными ветвями. Однако сам спиральный узор Галактики не может считаться установленным точно.

1. Бархатова К. А., Кутузов С. А., Осипков Л. П. Движение рассеянных скоплений из комплекса в Персее // Астрон. циркуляр.— 1981.— № 1155.— С. 6—7.
2. Бархатова К. А., Кутузов С. А., Осипков Л. П. Каталог некоторых наблюдательных данных и элементов галактических орбит рассеянных звездных скоплений // Астрон. журн.— 1987.— 64, № 5.— С. 959—960.
3. Бархатова К. А., Павловская Е. Д. Вероятные кратные рассеянные звездные скопления // Астрон. циркуляр.— 1981.— № 1155.— С. 4—6.
4. Ефремов Ю. Н. Рассеянные звездные скопления, ассоциации и комплексы // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Астрономия.— 1985.— 27.— С. 102—203.
5. Blitz L., Fich M., Stark A. Catalogue of CO radial velocities toward galactic H II regions // Astrophys. J. Suppl. Ser.— 1982.— 49, N 2.— P. 183—206.
6. Lynga G., Wramdemark S. The common origin of some open clusters // Astron. and Astrophys.— 1984.— 132, N 1.— P. 58—74.
7. Sharpless S. A catalogue of H II regions // Astrophys. J. Suppl. Ser.— 1959.— 4, N 3.— P. 257—279.

Урал. ун-т им. А. М. Горького, Свердловск,
Ленингр. ун-т им. А. А. Жданова

Поступила в редакцию 12.01.87,
после доработки 13.05.87