

УДК 524.5

О СХОДСТВЕ СТАТИСТИК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОБЛАКОВ И ЗВЕЗД СФЕРИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГАЛАКТИКИ

Р. Б. ШАЦОВА

Поступила 17 мая 1982

Принята к печати 20 июня 1983

Зависимость лучевых скоростей высокоскоростных облаков (HVC) от галактической долготы подобна асимметрии Стремберга. Скорость галактического вращения и дисперсия скоростей HVC такие же, как у объектов сферической подсистемы (субкарликов, переменных типа RR Лиры, шаровых скоплений). Подобно близким к нам субкарликам, HVC не обнаруживают концентрации к центру Галактики. Найдены вытянутые группы звезд, включая группу Каптейна, проектирующиеся на (или в окрестности) комплексы С II, «Магелланов поток» и др., с такими же, как у этих HVC, лучевыми скоростями. Расстояния большинства звезд этих групп порядка 100 пс.

Многие аспекты проблемы высокоскоростных облаков HI (HVC) прояснятся, когда удастся определить их расстояния. Пока же имеются сторонники как внегалактической природы HVC, так и внутrigалактической (в далеких спиральных ветвях или в близких ассоциациях). Для каждой гипотезы подобраны общие характеристики у HVC и у объектов с соответствующей локализацией в пространстве.

До сих пор HVC не сопоставлялись с объектами сферических подсистем Галактики. Факты наличия HVC на больших широтах, большая дисперсия v_r -лучевых скоростей и различие их знаков по обе стороны от галактического меридиана Солнца делают это уместным. Правда, сравнение статистик HVC и оптических объектов гало затруднено тем, что обе они оперируют с неоднородными и неполными данными с заведомо разными принципами селекции.

1. На рис. 1 приведены зависимости v_r от галактической долготы l для звезд субкарликов и шаровых скоплений. Здесь же штриховкой нанесены области, в которые попадают v_r HVC, по [1]. Сходные зависимости можно интерпретировать как проявление известной асимметрии Стремберга, аналитически записываемой [2] как $\Delta v = a - bv^2$, $a = \text{const}$, $b = \text{const}$, где Δv — отставание от плоской подсистемы галактического

вращения совокупности объектов, характеризующихся дисперсией скоростей σ^2 . В лучевую скорость Δv вносит вклад $\Delta v \cos b \sin l$. Если систематические движения Δu и Δw пренебрежимо малы, то при $\Delta v < 0$ $v_r < 0$ для $l(0, 180^\circ)$ и $v_r > 0$ для $l(180^\circ, 360^\circ)$. Отклонения от этого

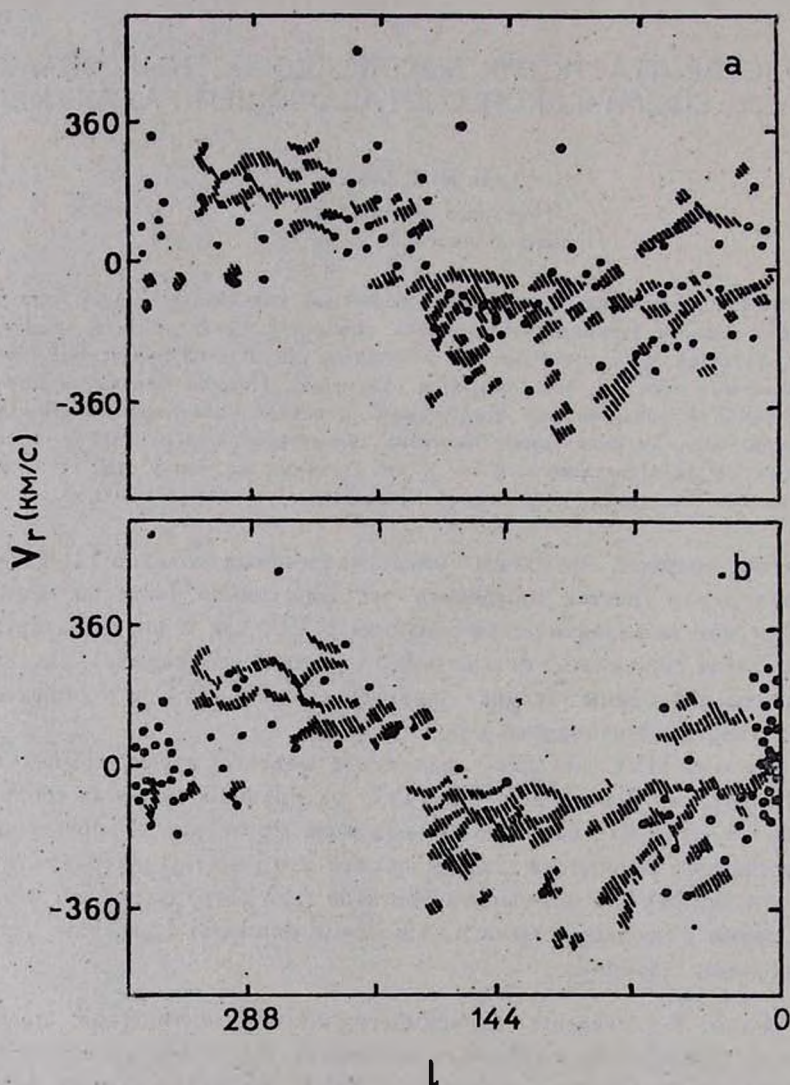


Рис. 1. Зависимость лучевой скорости от галактической долготы для а) субгалактических, б) шаровых скоплений, обозначенных точками, и для высокоскоростных облаков (HVC), данных штриховкой.

правила может создать большая дисперсия скоростей, что должно быть особенно заметно для отдельных объектов вблизи границы между полу-сферами, в направлениях центра и антицентра Галактики.

Скорости отставания Δv можно получить из амплитуд синусоид на рис. 1 и подобных им. Они приведены в табл. 1 вместе с дисперсией σ для HVC и ряда выборок сравниваемых объектов.

Таблица 1

АСИММЕТРИЯ И ДИСПЕРСИЯ СКОРОСТЕЙ

Объекты	Δv (км/с)	σ (км/с)	N	Литература
HVC, все	-212 ± 10.3	152 ± 3.8	799	[1]
$b > 0$	-177 ± 10.6	117 ± 4.1	402	[1]
$b < 0$	-253 ± 18.1	179 ± 6.4	397	[1]
$v_r < 320$	-174 ± 8.4	114 ± 3.0	718	[1]
Субкарлики	-233 ± 28.0	121 ± 10.3	69	[3]
$\pi > 0.025$, v -сост.	-182 ± 50.3	131 ± 16.4	32	[4]
все v_c	-146		33	[5]
RR Лиры	-258 ± 23.1	108 ± 8.7	93	[4]
Шаровые скопа.	-196 ± 38.4	138 ± 13.4	53	[6]
Местная группа	-360 ± 36.5	98 ± 16.0	19	[7] [8]
галактик		400—600		[9]

Параметры Δv и σ получены в результате однотипной обработки всех наблюдений, продиктованной ограничениями со стороны HVC: исключались v_r (LSR) < 50 км/с, кроме одного случая по субкарликам, v_r исправлялись лишь за стандартное движение Солнца, принималось $\Delta u = 0$ и $\Delta w = 0$. Исключение малых v_r завышает Δv на десятки км/с, создавая кажущуюся близость некоторых значений к -250 км/с, — скорости около-солнечного центроида.

Дисперсии скоростей HVC, как и для других объектов гало, превосходят значение для Местной группы галактик по списку [7], но гораздо меньше, чем по расширенному списку [9], так что σ не дает однозначного выбора между гипотезами галактической или внегалактической природы HVC. Иначе обстоит дело с параметром Δv . Во всех четырех решениях для HVC Δv оказалось существенно меньшим, чем у галактик, но близким к решениям для объектов гало из табл. 1. $\Delta v < 180$ км/с для подавляющего большинства HVC означает медленное вращение системы HVC вокруг центра Галактики со скоростью 70—100 км/с, что является сильным аргументом в пользу их принадлежности к Галактике, к ее сферической подсистеме.

Из рис. 1 видно, что HVC не имеют концентрации к $l = 0$, подобно близким к нам субкарликам, но в отличие от далеких шаровых скоплений. Этот факт может означать, что большинство известных HVC занимают сравнительно малый объем в Галактике. Вторая логическая возможность — принадлежность HVC к Местной группе галактик — отпадает в силу меньших Δv .

2. В табл. 2 приведены распределения по небу звезд и HVC с $v_r(\text{LSR}) > 70$ км/с. Числа в верхних строчках относятся к звездам, в основном, по [3], в нижних — к HVC, по [1, 10, 11]. В столбцах I и II со знаком „—“ даны $n(v_r < -200)$ и $n(-200 < v_r < -70)$, в столбцах III и IV со знаком „+“ даны $n(70 < v_r < 200)$ и $n(v_r > 200$ км/с).

Числа точек, в которых обнаружены HVC, не тождественны числам облаков, т. к. одни облака могут наблюдаться во многих точках, другие — в одной, но на том же луче зрения может быть несколько облаков. Минимальные числа HVC в площадках табл. 2, равные количествам разных v_r , с точностью до $\pm \Delta v_r$, а также точек с одинаковыми v_r , но разьединенными по положению, — в 1.9–2.6 раза меньше числа точек в таблице.

В области неба, где наблюдались HVC (между $b = 70^\circ$ и $b = -70^\circ$, на l , окантованных в табл. 2), случаи, когда в площадках одновременно присутствуют (или отсутствуют) HVC и звезды, в два раза чаще, чем случаи наличия объектов лишь одного вида: 214 против 110. Более детальное изучение 324 комбинаций при переходе к минимальным числам HVC в табл. 2 приводит к коэффициенту корреляции $\rho = 0.35 \pm 0.05$. Если опустить пары (0; 39) и (0; 54), то по остальным 322 парам ρ повышается до 0.46 ± 0.05 . При данном числе пар эти ρ существенно выше порога вероятности безошибочного прогноза (0.17), [12]. Поэтому интересны конкретные совпадения отдельной HVC со звездой, примеры которых приведены в табл. 3. Еще более показательны совпадения комплексов HVC (C II, Магелланова потока, ACS) с группами звезд типа групп Эггена. Они изображены на рис. 2, данные об этих звездах собраны в табл. 4 и 5.

На комплекс C II, по [13], проектируется группа, состоящая, в основном, из карликов класса G с пекулярными $v_r \approx -70$ км/с, близкими к v_r газового комплекса. Из табл. 4 видно, что с увеличением l растет $|v_r|_{\text{пек}}$, отражая эффект проекции на луч зрения полной скорости потока. Значительный разброс в u , v , w ($\sigma = 37$ км/с) отчасти связан с ошибками наблюдений и оценок расстояния r . Поток подобен движущимся группам Эггена, кстати, звезда HD 135694 принадлежит группе η Cep [14]. Если совпадения не случайны, получаем оценку расстояния комплекса C II: 40–100 пс.

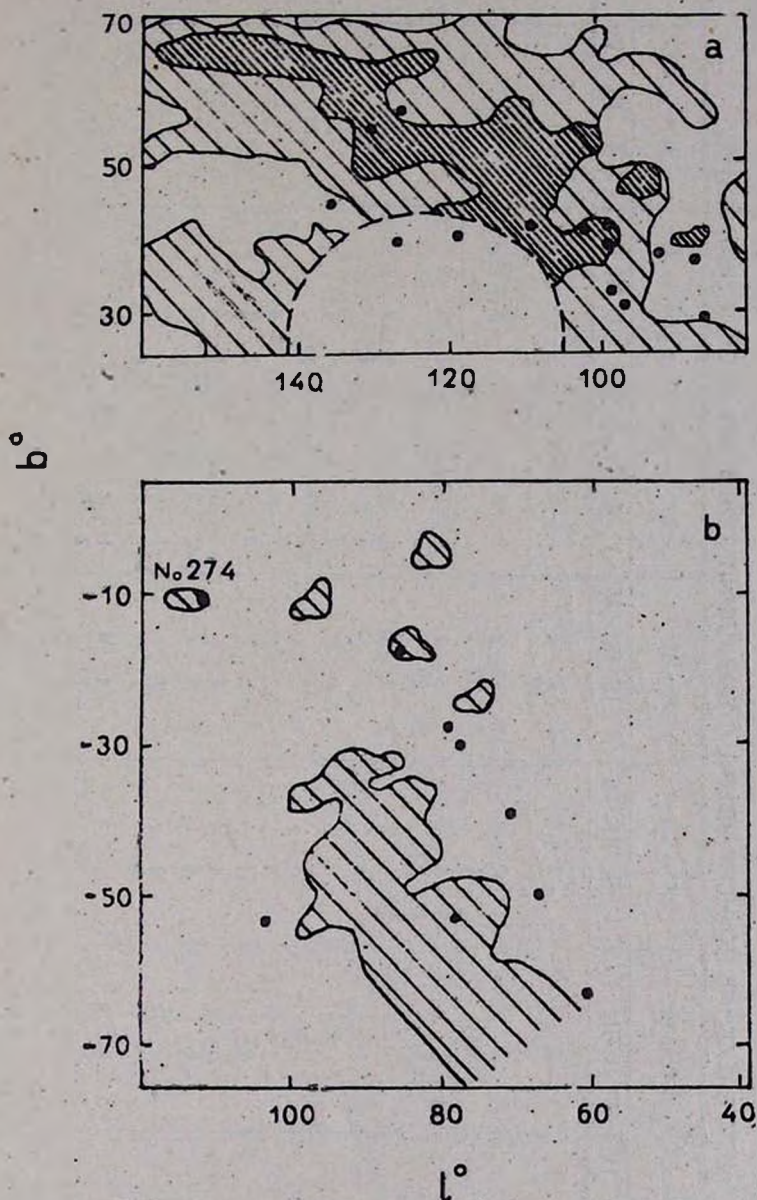


Рис. 2. Группы звезд, проектирующиеся на комплексы HVC или их окрестности. имеющие почти одинаковые лучевые скорости. а) комплекс С II, густая штриховка для облаков с v_r (LSR) = (— 75, — 100), редкая — для (— 50, — 75) км/с. Пунктирная дуга — граница обзора. б) «Магелланов поток» и WY And, проектирующаяся на HVC № 274.

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО НЕБУ ЗВЕЗД С БОЛЬШИМИ ЛУЧЕВЫМИ СКОРОСТЯМИ И НВС

$l \backslash b$	90°—70°	70°—50°	50°—30°	30°—10°	—10°— —30°	—30°— —50°	—50°— —70°	—70°—90°
	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV	II III
0°— 20	—1 —1	—2	—2 +3	—1 —4 +4	—2 +4	—3 +2	—1 +1	
20— 40	—2	—4	—1 —1 +3	—1 —13 +3 —2 —22 +7	—1 —5 +1 +2	—5 +1	—2	
40— 60	—2	—1 —3 —3	—3 —5 +2 —1 —13	—3 —8 +1 —2 —29 +1	—1 —12 +3 —3 +15 +4	—1 —3 +2		—1
60— 80		—3 —1	—3 —5 —29	—2 —7 +1 —17	—2 —9 +2 —3	—3 —2 +1 —1	—3 +1 —12 +1	—1
80—100		—2	—4 —15	—5 —8	—1 —6 +1 —2 —7	—2 —14 —2	—1 —2 —15 —2	—1
100—120	—1 +1	—2 +1 —6	—4 —4	—2 —6	—1 —8 +2 —2 —8	—4 —5 —2 +1	+1 +1 —5 —1	—1
120—140	—2	—2 +1 —4	—11 +1 —2	—4 —2 —8	—1 —12 —2 —5	—1 —4 +1 —6 —1	—2 —2 —2	
140—160		—1 —3 +1 —2	—1 —6	—1 —1	—1 —6 +3 —1 —20	—2 +1 —6 —19 +1	—1 —9	
160—180	—1	—4 +2 —9	—1 +1 —1 —13 +1	—4 +6 —12	—1 —4 +7 +1 —2 —29	—7 +1 —39 —24	—1 —1 —1	—1

180—200	+2	-3 +2 -10 +1 -1	-2 +4 +4 +3	-2 -1 +8 +2 -18	-3 -54 +7 +2 +1	-6 -5 +5	+1 +1	
200—220	+1 +2	-2 +4 -3 +1	+2 -2 +7	-1 +4 -3 +6	-1 +8 -1 -1 +1 +1	+4	+1	
220—240		+3 +1	-2 +3 +2 -1 +5	+10 +2 +14 +1	-1 +7 +1 +1	+2 +1		-1 +1
240—260	-1 +1	-1 +3 +10	+1 +1 +18 +2	-1 +2 +4	+5 +1	-1 +1 +1	+1	
260—280	+1	+2 -2 +1 +3	+4 -1 +7	+4 -1		>10		
280—300	+4	+5	+2 +2			>10	+2	
300—320		-1 +3 +1 +3	-1 +3 +1	+3 +1		-1 >10 +3	+2	
320—340		-1 +2	+3 +1	-1 +2	-1 +2	+1 +1		
340—360	-3	+2	-2 +1 +2 -1	-3 +4 +1 -1	-4 +5	-2 +1	-1 +1	

Таблица 3

ПРИМЕРЫ СОВПАДЕНИЙ КООРДИНАТ l , b И ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ
HVC И ЗВЕЗД

Звезда	l	b	v_r (км/с)	Sp тип	r (пс)	HVC	l	b	v_r (км/с)
HD 74462	148°	36°	-164 -168.6	G5IV sdG0	120 40	Комплекс А, [11]	(среднее) 151°	37.5	-168 -167
WYAnd	111	-14	-182	G2e-K2 SRd	>1000	№ 274, [1] [10]	112° 114	-12° -11	-172 -174-190
SU Dra	133	48	-153	F2-F6 Rkab	600	Комплекс CIII, [11]	129° 137 131	52° 47 48	-154 -153 -143

Таблица 4

ДАННЫЕ О ГРУППЕ ЗВЕЗД, ПРОЕКТИРУЮЩЕЙСЯ НА КОМПЛЕКС С II

A, HD, BD	l	b	mod r	v_r (км/с)		μ_α	μ_δ	u	v	w	Sp	V
				набл.	пер.							
A 109376	86.5	29.8	4.8	-90с	-73						G5	10 ^m
154712	87.8	36.8	3.3	-74в	-57	-.236	.239	58	-76	-10	dK5	9.1
153344	91.8	37.5	3.3	-83в	-67	-.330	-.055	0	-110	8	dG2 G5IV	7.1
186237	96.9	31.3	4.0	-78в	-63	-.151	-.209	-71	-84	1	dG2	9.2
149198	98.9	38.6	7.0	-81в	-66	-.020	-.031	-26	-85	-18	gM3	6.7
+67°925	99.0	41.1	5.0	-76с	-62	-.157	.190	96	-91	-32	dG0	9.9
135694	109.0	41.3	3.3	-85в	-72	-.188	.086	17	-85	-44	dG1	8.9
+77°521	119.0	39.9	4.7	-87	-76	-.015	.005	-17	-70	-53	G0	9.4
109729	126.9	57.2	5.0	-91с	-81	-.023	-.017	32	-94	-91	gM4e 6e	5.5
102326	127.9	39.7	3.3	-92с	-83	.161	-.103	-77	-58	-33	dG9	8.9
107582	129.7	54.9	3.0	-82с	-73	-.278	-.266	0	-100	-56	G1V	8.2
107760	136.3	44.1	3.0	-97а	-87	-.449	-.160	42	-78	-99	G7V	8.3

Приблизительно такие же скорости, как у «Магелланова потока» HVC, имеют звезды на одном с ним участке неба или по-соседству с ним, табл. 5. Эти звезды, в основном, субкарлики, удалены от Солнца на 100—200 пс.

У двух последних звезд в табл. 5 сходны μ , r и Sp, хотя v_r различны. От $b = -27^\circ$ до $b = -52^\circ$ $|v_r|$ убывает примерно так же, как у HVC этого «потока» [10]. Заметим, что звезда Wolf 1032, согласно Эггену [15], является членом группы Каптейна. Вторым членом является лирида SU Dra из табл. 3. Это вселило надежду найти HVC и около других членов группы, состоящей из субкарликов, лирид и других старых звезд в радиусе до 1 кпс или больше.

Таблица 5

ДАННЫЕ О ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЗВЕЗДАХ,
ПРОЕКТИРУЮЩИХСЯ НА „МАГЕЛЛАНОВ ПОТОК“

Звезда	l	b	mod r	v_r набл. (км/с)	μ_α	μ_δ	u v w (км/с)			Sp	V
Wolf 1143	85	-17	5.0	-178	.0600	.135	326	-281	-180	dG2	11 ^m 1
HD 209621	78	-27	5.0	-383	.0014	.000	176	-353	94	R3	8.7
17 4708	77	-30	3.8	-296	.0357	.075	180	-261	82	sdG0	9.5
Wolf 1032	70	-39	5.65 6.85	-232	.0179	-.140	150 217	-260 -326	1 -105	sdG0	10.4
HD 26	103	-52	6.5 7.1	-213	.0167	-0.057	150 208	-267 -314	94 74	sgG2p	8.2
Ross 786	78	-53	4.0	-112	-.0157	-1.307	-236	-333	-66	sdG2	10.0
HD 219617	60	-64	3.95	10	-.0349	-1.187	-300	-258	-44	sdG2	8.2

В область обзора HVC [1] попадает 16 звезд группы Каптейна с $(|v_r|) > 50$ км/с — около половины всех известных ее членов. Как видно рис. 3, в подавляющем большинстве случаев (13) около звезд найдены

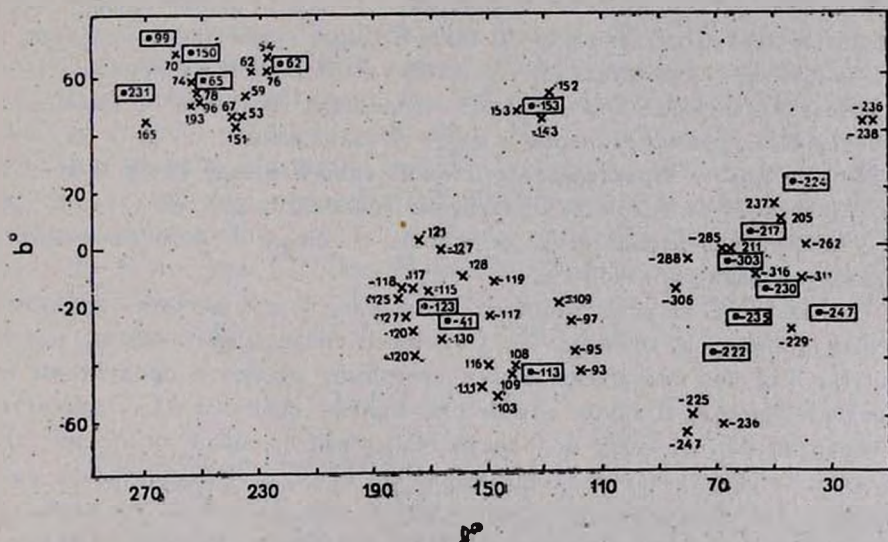


Рис. 3. Комплексы HVC, проектирующиеся на окрестности звезд движущейся группы Каптейна. В прямоугольники заключены звезды, обозначенные точками, и их лучевые скорости. HVC обозначены крестиками.

HVC с такими же скоростями. Интересно, что HVC с другими скоростями здесь чаще всего отсутствуют. Обратим внимание на богатый комплекс ACS, окружающий субгигант HD 25532 ($v_r = -123$, $r = 300-400$ пс) и движущийся с такой же скоростью. Уивер [16] связывает этот комплекс

с ассоциацией Per OB-2, имеющей малую скорость и $r = 330$ пс, полагая, что большая скорость газа получилась в результате ускорения, вызванного гипотетической вспышкой сверхновой в ассоциации. Более детальное рассмотрение этих совпадений дано в [17].

Сопоставления по этой и другим группам можно будет продолжить как по имеющимся данным, так и по новым, по мере их накопления, особенно в секторе неба $l = 180 \div 360^\circ$, $b < 0$. Для этого сектора, где главные открытия еще впереди, на основании асимметрии Стремберга можно предсказать, что большинство HVC, если они там имеются, должны обладать положительными лучевыми скоростями относительно LSR.

3. Следствия и трудности гипотезы близости HVC. Если большинство наблюдаемых HVC находятся в радиусе R пс вокруг Солнца и покрывают p -часть неба со средней поверхностной плотностью N_{HI} , то их вклад в массу подсистемы гало $M_{HVC}/M_* = 3pN_{HI}/(\rho_*R) \approx 2$ пс/ R при $p = 10\%$, $N_{HI} = 1.6 \cdot 10^{19}$ ат см $^{-2}$ [1] и плотности звезд гало $\rho_* = 0.8$ ат см $^{-3}$ [18].

При $R = 100\text{--}200$ пс вклад HVC в гало оказывается таким же, как межзвездного газа в плоскую подсистему: 1—2%. Грубые оценки масс, размеров и плотности дают: 1—10 масс Солнца, несколько парсеков и $\rho \approx 1$ ат см $^{-3}$, соответственно, что опять-таки приближает HVC к обычным межзвездным облакам, в отличие от представлений о HVC как объектах, соперничающих по размерам и массе с галактиками.

Независимо от характера генетических связей между HVC и звездами гало, должно быть единое объяснение больших скоростей у тех и других, следовательно отпадает необходимость в поиске особого физического процесса ускорения облаков HI.

То, что HVC не просто принадлежат гало, а, как видно из приведенных выше примеров, хотя бы часть их тесно связана со звездами, может означать, что они порождены этими звездами, являются продуктами их жизнедеятельности. В таком случае они моложе своих звезд. Однако такие соображения в пользу молодости HVC, как большая дисперсия газа в облаках и существование длинных цепочек HVC с приблизительно одинаковыми скоростями, еще нуждаются в анализе. Так по мере совершенствовании радионаблюдений и их обработки, уменьшаются оценки дисперсии [19], и нельзя считать решенным вопрос о неустойчивости цепочек. Следует иметь в виду возможное влияние магнитных полей и обнаруженное в ряде случаев [20] вращение облаков и их комплексов.

Наряду с близкими, несомненно, имеются далекие HVC. Они проектируются на более протяженные близкие облака и обнаруживаются из гауссовского анализа профилей линий. Современным радионаблюдениям доступны облака, суммарное излучение которых на луче зрения имеет

$N_{HI} > 2 \cdot 10^{18}$ ат см⁻². Списки не включают HVC, наблюдаемые на уровне шумов или немного больше. Малые по угловым размерам облака легко просеиваются между узлами сетки радиообзоров. Однако пока не ясно, объясняет ли все это сравнительную малочисленность далеких HVC.

Мы полагаем, что со временем удастся провести радио-астрометрическую проверку близости многих HVC, когда наблюдения со сверхдлинной базой особо тонких деталей облаков дадут их тригонометрические параллаксы и собственные движения.

Автор выражает благодарность участникам семинара ГАИШ, участвовавшим в дискуссии по затронутым в статье вопросам.

Ростовский-на-Дону госпединститут

ON THE STATISTICAL LIKENESS OF HIGH-VELOCITY CLOUDS AND STARS OF SPHERICAL COMPONENT OF THE GALAXY

R. B. SHATSOVA

The dependence of high-velocity clouds (HVC) radial velocities on the galactical longitude is similar to the Stromberg asymmetry. The galactic rotation velocity and the velocity dispersion of HVC are the same as those of spherical component objects (subdwarfs, RR Lyra-type variables, globular clusters). The HVC similar to the nearby subdwarfs, do not reveal any concentration to the galactic centre. The stellar groups, including the Kapteyn's group, projecting over (or in the vicinity) the complexes CII, the "Magellanic Stream" and others, with the same radial velocities as these HVC have, are found. Most of the stars in these groups have distances of the order of 100 pc.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Giovanelli, A. J., 85, 1155, 1980.
2. К. Ф. Огородников, Динамика звездных систем, ФМЛ, М., 1958.
3. H. A. Abt, E. S. Biggs, Bibliography of Stellar Radial Velocities, New York, 1972.
4. H. Sato, Y. Yoshii, P. A. S. P., 91, 553, 1979.
5. O. J. Eggen, Ap. J., 230, 786, 1979.
6. Б. В. Кукаркин, Каталог шаровых звездных скоплений нашей Галактики, Наука, М., 1974.
7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Внегалактическая астрономия, Наука, М., 1978.
8. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Austin. Univ. Texas Press, 1976.
9. A. Hnatek, Z. Astrophys., 46, 224, 1958.

10. *A. N. M. Hulsbosch*, *Astron. Astrophys.*, 66, 15, 1978.
11. *A. N. M. Hulsbosch*, *Astron. Astrophys.*, 40, 1, 1975.
12. *Н. А. Плохинский*, *Биометрия*, Изд. МГУ, 1970.
13. *J. van Kullenburg*, *Astron. Astrophys. Suppl. ser.*, 5, 1, 1972.
14. *O. J. Eggen*, *Royal Obs. Bull.*, No. 84, 111, 1964.
15. *O. J. Eggen*, *Ap. J.*, 215, 812, 1977; 229, 158, 1979.
16. *H. Weaver*, *IAU Symp. No. 84, The Large Scale Structure of the Galaxy*, ed. W. B. Burton, Dordrecht: Reidel.
17. *Р. В. Шацова*, *Научные информации Астросовета АН СССР* (в печати).
18. *К. У. Аллен*, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.
19. *U. J. Schwarz*, *J. H. Oort*, *Astron. Astrophys.*, 101, 305, 1981.
20. *J. W. Erkes*, *A. G. D. Philip*, *K. C. Turner*, *Ap. J.*, 238, 546, 1980.