

УДК 524.47—333

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ
ПО СОБСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЯМ

С. НИНКОВИЧ

Поступила 3 августа 1982

Принята к печати 24 декабря 1983

На основании данных о собственных движениях звезд в полях шаровых скоплений М 15, М 92 и М 13 сделано определение их масс с помощью метода Наумовой—Огородникова, а для М 13 также с помощью метода, основанного на теореме вириала. Результаты применения первого метода приводят к массе порядка $10^8 M_{\odot}$ а второго — $1 \cdot 10^6 M_{\odot}$.

Метод Наумовой—Огородникова, примененный ранее к шаровому скоплению ω Сеп [1], дал значение массы $2 \cdot 10^8 M_{\odot}$, что значительно превышает обычно принимаемые значения масс шаровых скоплений. Для применения этого метода в настоящей работе использован наблюдательный материал статей [2—4]. Авторами этих статей определены компоненты собственных движений шаровых скоплений: для М 15 0.22 ± 0.10 , -0.40 ± 0.13 [2]; для М 92 -0.50 ± 0.05 , 0.18 ± 0.12 [3]; для М 13 -0.04 ± 0.12 , 0.76 ± 0.20 [4] (в секундах дуги в столетие) по прямому восхождению и склонению, соответственно.

В расчетах использованы данные только о тех звездах полей шаровых скоплений, для которых вероятность принадлежности данному скоплению больше 50%, согласно оценке авторов [2—4]. Следует добавить, что оценка принадлежности для большинства звезд была 0% или 100%. Список использованных звезд с компонентами собственного движения в секундах дуги в столетие приводится в табл. 1—3. Значения стандартных ошибок $\pm 0.03''/100$ лет для М 15 и М 92 [2, 3] и $\pm 0.13''/100$ лет [4] для М 13. Звезды были разделены на две группы — звезды, находящиеся впереди по движению скопления в картинной плоскости (площадка 1 в таблицах) и звезды, находящиеся позади по движению скопления в картинной плоскости (площадка 2).

Нашей задачей, согласно [1], было определение дисперсии скоростей для этих звезд по оси y , перпендикулярной к направлению собственного движения скопления, и, так называемой, добавочной дисперсии, связанной

Таблица 1

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД В ПОЛЕ М 15

площадка 1

звезда	K11	K15*	C 15	K17*	K27*	C16	K33	K35	B12	K40	C17*
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	0.24	-1.03	2.90	-0.65	0.30	4.69	-0.85	1.00	0.51	-0.07	-0.18
μ_{δ}	0.16	0.44	-1.65	-0.61	0.20	1.73	0.01	0.11	-1.02	0.65	0.08
звезда	B13	K127	K160	K202*	C19*	K269	K356	K677*	C22	K813*	C23
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-1.22	2.14	-2.52	0.12	0.07	-0.73	3.85	0.06	-0.12	-0.07	-0.94
μ_{δ}	-0.66	0.08	-2.85	0.07	-0.22	-0.83	-0.89	0.12	1.00	-0.27	-0.52
звезда	1315	K978	K1001*	C26	C28	K1095	K1107*	C31	K113X10	K1135	
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-0.31	-1.29	0.09	-0.22	-0.25	-0.13	-1.02	-0.71	-1.43	-0.11	
μ_{δ}	0.82	-1.11	1.02	-0.24	-0.57	-0.17	-0.93	-0.02	-1.46	-0.15	
звезда	B19	B21	B22	X13	C34						
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	1.56	-0.22	-0.08	2.52	1.13						
μ_{δ}	0.61	0.75	-0.24	-0.03	1.27						

площадка 2

звезда	C1*	B2	C2*	C7*	C8*	B9	C11*	B10	K1	K5	K6*
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	0.94	1.08	0.35	1.21	-0.25	0.46	-0.25	-0.47	-1.09	0.65	0.37
μ_{δ}	1.16	-0.22	0.31	0.35	-0.15	0.29	-0.08	0.74	-0.42	-1.31	-0.79
звезда	C14*	K9	K23X7	K28X5	K29X6	B11	K86A*	K112B	K295P8	K307X4	
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	1.08	-0.61	1.22	0.02	-0.04	2.02	0.10	1.30	-0.71	-0.13	
μ_{δ}	0.30	-0.42	-0.32	-0.31	-0.17	0.47	-0.18	1.18	-0.44	0.16	
звезда	B14	K609P14*	K676	K837*	K967	C24*	C25*	C27	K1089	K1094*	
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-0.06	-0.06	1.25	0.17	2.16	1.16	0.17	-0.49	-4.09	0.06	
μ_{δ}	-1.02	-0.33	0.15	-0.02	6.42	-0.04	-0.13	-0.66	-6.24	0.25	
звезда	C29	K1096X1	K1106	B16X19	B17X20						
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-2.56	-0.02	0.16	1.47	1.50						
μ_{δ}	-0.99	-0.25	0.08	0.68	-2.33						

Таблица 2

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД В ПОЛЕ М 92

площадка 1

звезда	V-2	V-7	VI-2	VI-6	VI-7	VI 36	VII-1	VII-5	VII-12
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	0.70	0.66	0.14	1.44	0.07	0.04	0.17	0.10	0.37
μ_{δ}	1.00	1.27	0.38	-0.35	-0.10	-0.12	1.34	-0.81	-0.99

звезда	VII-15	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-0.13	0.85	0.87	-0.41	-0.14	1.02	0.50	-0.88	-0.48	0.22
μ_{δ}	-0.03	-1.10	-1.83	-0.21	0.03	-0.09	-3.39	0.35	0.38	1.61

площадка 2

звезда	I-1	I-2	I-10	I-13	II-2	II-5	II-18	X13	X74	XI-8	XI-50
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	1.26	0.25	-0.07	0.79	0.22	-2.49	-0.55	0.08	0.97	-0.12	0.91
μ_{δ}	0.94	-0.11	-0.12	0.35	-0.22	0.59	-4.95	-0.36	-2.35	-0.80	-2.13

звезда	XII-1	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	C35	C36	C38
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	0.43	0.30	0.68	-0.12	1.32	1.66	1.81	0.60	0.43	-0.32	0.20
μ_{δ}	1.69	-0.77	-0.74	-0.55	0.16	0.35	0.64	0.03	0.23	-2.44	-1.05

звезда	C39	C40	C41
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-1.64	0.09	-0.03
μ_{δ}	0.94	-0.46	0.15

Таблица 3

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД В ПОЛЕ М 13

площадка 1

звезда	K610	K601	L15BAV	K227	K673	L199	K680	L37	K295	L601	CM9
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-0.11	-0.96	-1.80	0.70	0.59	0.30	0.36	-1.89	-0.16	0.17	0.09
μ_{δ}	0.93	3.98	1.53	-1.23	-2.79	-0.09	-0.19	-2.27	-1.77	-1.23	-1.03

площадка 2

звезда	K258	K641	CM5	K312	CM10	CM7	CM4		K385	K572	K61
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-0.02	0.04	0.34	-0.23	-0.12	-0.12	-1.03	0.47	-0.24	0.45	-0.15
μ_{δ}	-1.10	-0.74	-3.73	-0.66	0.02	0.03	0.97	0.09	-0.62	-0.26	0.06

звезда	K135	K636	K216	K660	K676	K524	K246	24215	K627	CM6	K317
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	0.65	-0.22	0.33	-3.93	-1.57	-0.84	-0.49	-0.16	1.29	-0.57	0.94
μ_{δ}	-2.99	1.54	-0.30	3.55	-13.47	-0.26	0.11	-0.18	-1.40	0.36	-0.84

звезда	K508	K575
$\mu_{\alpha} \cos \delta$	-4.03	0.27
μ_{δ}	-5.37	1.04

с массой данного шарового скопления [1]. Значения дисперсий σ_1 и σ_2 для обеих площадок, соответственно, и добавочной σ_g в км/с для всех трех шаровых скоплений приведены в табл. 4, где $\sigma_y^2 = \sigma_2^2 - \sigma_1^2$.

Таблица 4

ш. с.	σ_1	σ_2	σ_g
М 15	690 ± 340	790 ± 370	380 ± 320
М 92	390 ± 190	510 ± 250	330 ± 260
М 13	260 ± 140	400 ± 200	300 ± 240

Ошибки величин σ_1 и σ_2 оценены в согласии со средней относительной ошибкой тангенциальных скоростей здесь использованных звезд. Ошибка величины σ_g оценена, следуя авторам [1], так, чтобы приблизительно равнялась большей из ошибок двух дисперсий σ_1 и σ_2 . Однако из-за того, что М 15 дальше остальных двух скоплений, для него получилась бы относительная ошибка добавочной дисперсии больше 100%. Обратное имеет место для самого близкого из трех скоплений — М 13. С другой стороны, именно в случае М 15 использовано самое большое число звезд, а в случае М 13 — самое малое. Поэтому нами решено приблизительно приравнять между собой относительные ошибки добавочных дисперсий для всех трех скоплений. В итоге получается увеличение абсолютной ошибки добавочной дисперсии для М 13 и уменьшение для М 15.

Как видим, для всех трех скоплений дисперсия скоростей звезд позади скопления превышает дисперсию скоростей перед скоплением. Хотя каждая разность, если учесть средние ошибки, не представляется значимой, то, что во всех трех случаях она имеет ожидаемый знак, склоняет к выводу о ее реальности. Несомненно, что полученная картина сильно затуманена тем, что многие из рассмотренных звезд не находятся, пространственно, в окрестности скопления, а проектируются на него. Рассмотрение видимых величин звезд, использованных для скоплений М 13 и М 92 показало, что большинство из них на расстоянии скопления имело бы слишком

высокие светимости, т. е. они не могут находиться в окрестности скопления. Очевидно, что эти звезды сильно снижают значимость получаемых результатов. Больше всего приемлемых по видимой величине звезд — 23 оказалось в списке для скопления М 15. Они в табл. 1 отмечены звездочками. Для этих звезд получено $\tau_1 = 270 \pm 120$ км/с, $\tau_2 = 320 \pm 140$ км/с и $\sigma_y = 170 \pm 130$ км/с. Хотя разность $\tau_2^2 - \tau_1^2$ снова не является значимой, она опять имеет ожидаемый знак.

Массу данного скопления M вычисляем по формулам работы [1]

$$(\tau_y/v_0)^2 = \frac{2p_0^2}{p_2^2 - p_1^2} \left[\ln \frac{p_2^2 + p_0^2}{p_1^2 + p_0^2} - \frac{p_0^2}{p_1^2 + p_0^2} + \frac{p_0^2}{p_2^2 + p_0^2} \right], \quad p_0 = \frac{GM}{V_0^2}, \quad (1)$$

где V_0 — пространственная скорость скопления; p_1 и p_2 — пределы прицельного расстояния фокусировки звезд в поле скопления здесь равны 10 пс и 35 пс, соответственно; p_0 — характерное прицельное расстояние (см. [1]) и G — постоянная тяготения.

Во всех трех случаях добавочная дисперсия порядка пространственных скоростей данных скоплений и даже больше ее (в случае М 15 и М 92), пока для указанных пределов прицельного расстояния ее максимальное возможное значение составляет только $0.66 V_0$. [1]. Как легко убедиться на основе формул работы [1], если добавочная дисперсия и пространственная скорость скопления равны друг другу по порядку, масса скопления должна быть порядка $10^8 M_\odot$, даже и при иных значениях пределов прицельного расстояния фокусировки звезд, но только не превышающих порядок обыкновенных размеров шаровых скоплений. При использовании только 23 звезд для М 15 на основе [1] получаем значение массы $2 \cdot 10^8 M_\odot$, что совпадает со значением, полученным для ω Сеп Наумовой и Огородниковым [1] и Наумовой с помощью иного способа [5].

Мы также вычислили массу скопления М 13 вириальным методом, используя собственные движения 372 звезд, находящихся внутри видимого радиуса 20 пс около центра скопления, если расстояние до него, согласно [4], принять равным 6.3 кпс. Масса М-13 получилась $\sim 1 \cdot 10^6 M_\odot$.

Несмотря на неуверенность высоких значений масс, получаемых по методу работы [1], нам представляется, что они указывают на то, что истинные массы шаровых скоплений больше тех, которые принимались до сих пор. Может быть, на периферии шаровых скоплений имеется значительная масса, вносимая либо ненаблюдаемыми звездами-карликами, либо нам неизвестным веществом, существование которого в галактическом гало спекулируется в связи с проблемой, так называемых, скрытых масс.

Выражаю глубокую благодарность профессору К. Ф. Огородникову за ценные советы и профессору А. Д. Чернину за чтение рукописи.

MASS DETERMINATION FOR GLOBULAR CLUSTERS
ON THE BASIS OF PROPER MOTIONS

S. NINKOVICH

A determination for globular cluster masses for M 15, M 92 and M 13 by use of the methods proposed by Naumova and Ogorodnikov and by applying the virial theorem is made. A discussion of obtained results is presented as well.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Наумова, К. Ф. Огородников, Астрон. ж., 50, 726, 1973.
2. К. М. Cudworth, A. J., 81, 519, 1976.
3. К. М. Cudworth, A. J., 81, 975, 1976.
4. К. М. Cudworth, D. G. Monet, A. J., 84, 774, 1979.
5. Е. В. Наумова, Астрон. цирку., № 896, 6, 1975.