

## Модуль эволюции шаровых звездных скоплений

*Н. Спасова, П. Димитров*

Предложенные в последние годы теоретические модели звездных систем дают возможность анализировать результаты изучения распределения звезд и поверхностной яркости и получить оценки динамических параметров и структурных особенностей этих объектов. Одна из таких моделей была предложена в 1976 г. фон Хернером (Ноеггер, 1976). Она основана на результатах численного интегрирования системы  $N$ -тел разных авторов и предполагает, что система состоит из ядра, центра и гало. Величина  $W = \lg R_h/R_c$ , где  $R_c$  и  $R_h$  — внутренний и внешний радиусы ядра соответственно, называется *модулем* эволюции и характеризует главным образом степень динамической эволюции системы. В принятой модели динамическая эволюция системы проходит через три фазы: 1 — система быстро формирует центр и гало и  $W$  увеличивается от 0 до 0,741; 2 — система сохраняет  $R_h = \text{const}$ , но модуль эволюции  $W$  увеличивается; 3 — система находится на очень высокой степени релаксации с  $W = \text{const}$ .

Из-за симметричности и богатства звезд шаровые скопления дают принципиальную возможность для динамических исследований. Огромное количество наблюдательных данных о этих объектах позволяет критически оценить надежность динамических моделей и проследить эволюцию самих звездных систем.

Цель настоящей работы — определить модуль эволюции, структуру и структурные параметры для серии звездных скоплений в рамках рассматриваемой динамической теории, для которых имеется достаточно наблюдательных данных. Работу следует рассматривать как один из опытов более широкого исследования динамических параметров звездных систем, первые результаты которого были изложены Кадлой (Кадла, 1979).

Модуль эволюции может быть определен из графика, дающего зависимость между  $\lg h$  и  $\lg R$  (рис. 1), где

$$(1) \quad h = N R^{-0.6} / \lg K = 14.47 R^{1.4} \rho(R);$$

$N$  — число звезд в концентрическом кольце с радиусами  $R_i$  и  $R_{i+1}$ ,  $K = R_{i+1}/R_i$ ,  $\rho(R)$  — поверхностная плотность.

Согласно модели зависимость  $h(R)$  можно представить в виде  $\lg h = A \lg R + B$  и конкретно

$$(2) \quad \lg h = \begin{cases} \text{const} + 1,4 \lg R & \text{центр} \\ \text{const} & \text{ядро} \\ \text{const} - 1,35 \lg R & \text{гало.} \end{cases}$$

На графике  $\lg h - \lg R$  ядро представляет собой горизонтальную прямую, длина которой равна модулю эволюции  $W$ .

В нашем исследовании модель фон Хернера использована для анализа 14 шаровых звездных скоплений, для которых имеются опубликованные звездные подсчеты в широких окрестностях и фотоэлектрические измерения поверхностной яркости в центральных частях скоплений. Для одиннадцати скоплений данные от звездных подсчетов (King, 1968) были комбинированы с фотоэлектрическими измерениями поверхностной яркости этих скоплений (Illingworth G., W. Illingworth, 1976; Chun, Freeman, 1979; Da Costa, 1979; Gascoigne, Burr, 1956; King, 1966), чтобы получить распределение поверхностной плотности на большом участке радиуса скопления.

Для трех из исследуемых скоплений (NGC 288, NGC 5466 и NGC 7089) распределение поверхностной плотности определялось только по звездным подсчетам (King, 1968; Bahcall, Hausman, 1977). Подсчеты проведены вне радиусов  $R=18''$ ,  $22''$  и  $3''$  для соответствующих скоплений.

В нашей работе вычислялись величины  $h$  (по формуле 1), используя опубликованные значения поверхностной плотности  $\rho(R)$ , и строились графики, где на абсциссе нанесена  $\lg R$ , а на ординате — величина  $\lg h$  с произвольным нуль-пунктом. Нужно отметить, что все вышеупомянутые авторы относят среднюю плотность к радиусу

$$(3) \quad R = [1/2 (R_i^2 + R_{i+1}^2)]^{1/2}.$$

В модели фон Хернера степенной показатель  $n$  в выражении для закона распределения плотности  $\rho(R) = cR^n$  меняется в пределах  $-2,75 \leq n \leq 0$ . Во всех наблюдаемых случаях  $n < 0$ , а  $K \leq 2$ . Имея в виду, что значения для  $\lg R$  имеют незначительные различия при  $K \leq 2$ , то можно считать, что выбор радиуса, к которому нужно отнести среднюю плотность, не меняет существенно результатов.

Результаты анализа представлены на рис. 1. Точками помечены данные, полученные по звездным подсчетам, а кружками и крестиками — по фотоэлектрическим наблюдениям.

Из графики видно, что для изученных скоплений хорошо представлены и выделяются достаточно четко все три части: центр, ядро и гало. Численные данные, полученные из графиков для отдельных скоплений, приведены в табл. 1. Таблица дополнена данными о четырех шаровых скоплениях, взятых из работы Кадла (Кадла, 1979). Параметры  $\lg R_c$ , соотв.  $W$  и наклон прямой, описывающей центр  $A_c$  скоплений NGC 6752 и NGC 6864, определяются неуверенно из-за отсутствия достаточного количества данных для распределений поверхностной плотности в центральных частях этих скоплений.

Анализ полученных результатов, приведенных в таблице, показывает:

1. Из четырнадцати рассмотренных скоплений, кроме NGC 6864 ( $W=0,84$ ), остальные находятся на первой стадии динамической эволюции, имея модуль эволюции  $\leq 0,741$ . Теория утверждает, что скопления быстро проходят первую стадию эволюции, в течение которой модуль увеличивается от 0 до 0,74, когда наступает вторая стадия.

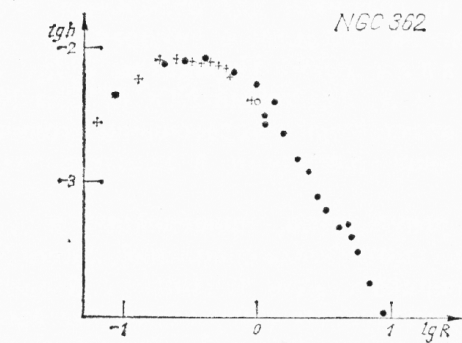
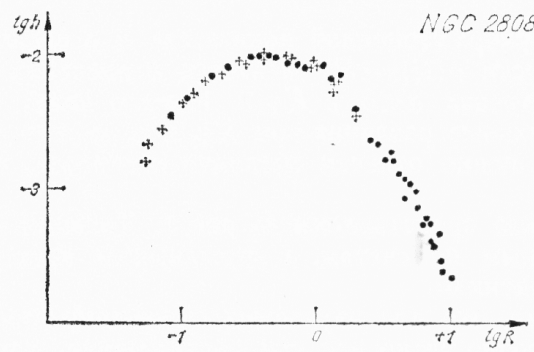
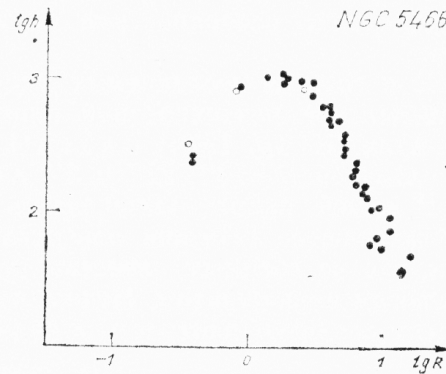
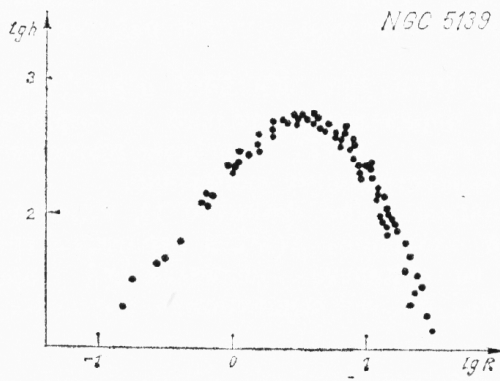
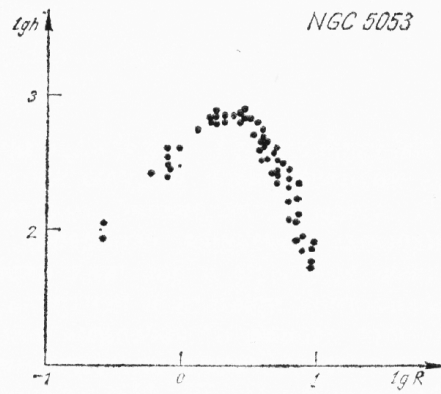
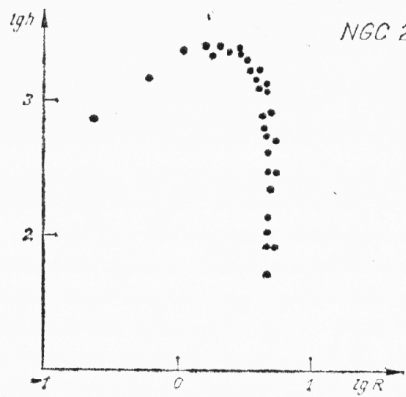


Рис. 1

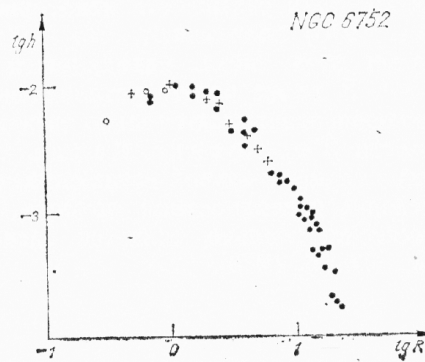
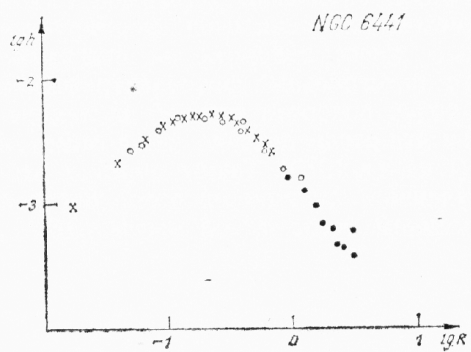
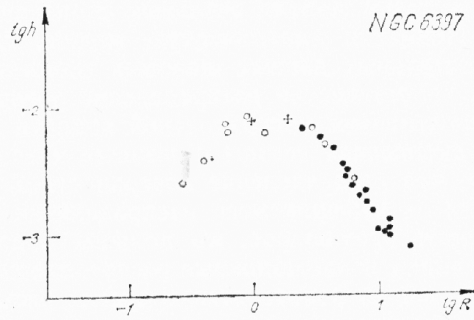
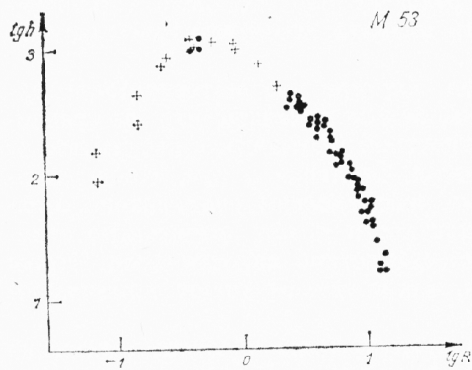
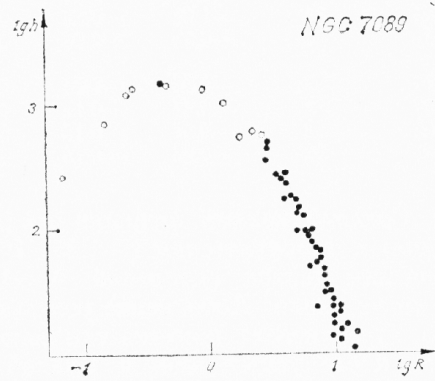
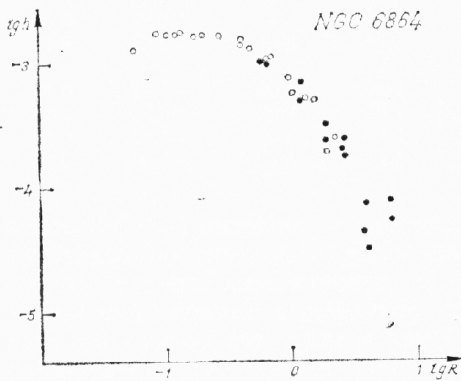
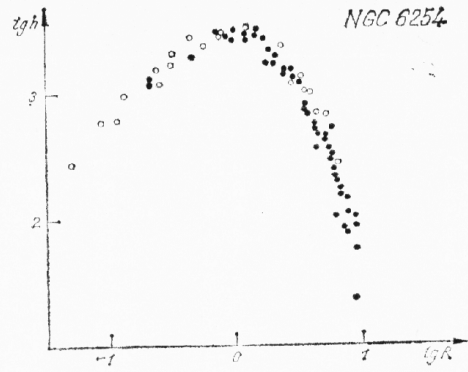
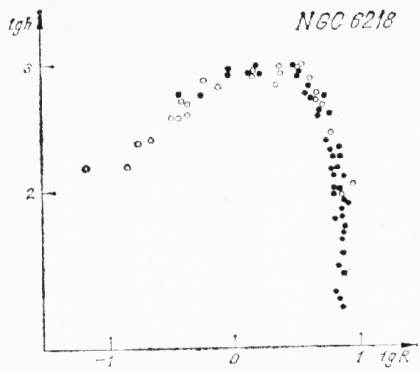


Таблица 1

NGC	м	$\lg R_c$	$\lg R_h$	$W$	$A_c$	$\delta A_c$	$A_h$	$\delta A_h$
288		0,10	0,52	0,42	0,76	0,05	-2,12	0,38
362		-0,79	-0,32	0,47	0,91	0,16	-0,74	0,03
2808		-0,64	-0,02	0,62	1,08	0,05	-1,39	0,07
5024	53	-0,54	-0,20	0,34	1,33	0,03	-1,21	0,16
5466		0,02	0,48	0,46	1,29	0,22	-2,05	0,02
5053		0,20	0,48	0,28	1,11	0,13	-2,02	0,12
5139		0,34	0,66	0,32	1,19	0,06	-1,20	0,06
6218	12	-0,24	0,23	0,47	0,85	0,12	-1,15	0,10
6244	10	-0,22	0,16	0,38	1,00	0,08	-0,97	0,09
6397		-0,14	0,48	0,62	1,17	0,08	-1,33	0,06
6441		-0,90	-0,30	0,60	0,84	0,06	-0,86	0,03
6752		-0,28	0,30	0,58	0,98	—	-1,26	0,05
6864	75	-1,08	-0,24	0,84	0,17	—	-0,87	0,09
7089	2	-0,58	-0,08	0,50	1,14	0,01	-2,05	0,11
5272	3	-0,33	-0,04	0,29	1,26	0,09	-1,27	0,12
5904	5	-0,47	-0,12	0,35	1,35	0,06	-0,60	0,04
6205	13	-0,35	0,13	0,48	1,51	0,07	-1,07	0,08
6341	92	-0,64	-0,16	0,48	1,11	0,12	-0,94	0,06

2. Средний наклон функции  $\lg h(R)$  для гало скопления (-1,33) почти совпадает с теоретическим (-1,35). В то же время отклонение наблюдаемого наклона для центра скоплений  $A_c=1,10$  от теоретически предсказанного (1,40) значительно. Дополнение результатов, полученных Кадлой (дополнение к табл. 1) не меняет полученного вывода. Имея в виду, что только для двух из всех исследуемых нами и Кадлой скоплений наклон  $A_c$  определяется неуверенно, то можно предположить, что различие наблюдаемого и теоретически предсказанного наклона может быть вызвано несоответствием начальных условий модели реальных скоплений.

Применяя динамическую модель фон Хернера для интерпретации наблюдательных данных шаровых скоплений, нельзя забывать, что мы сравниваем теоретическое распределение поверхностной плотности с наблюдаемым распределением поверхностной яркости звезд. Сведения о том, что в шаровых скоплениях звезды с разными массами распределены неодинаково, означают, что распределение поверхностной плотности может значительно отличаться от наблюдаемого распределения поверхностной яркости звезд. Чтобы выяснить этот вопрос, мы должны знать, какие звезды имеют доминирующий вклад в наблюдаемые распределения.

В нашей работе распределение звезд во внутренних областях скоплений определяется при помощи поверхностной фотометрии. Результаты исследования функции светимости некоторых шаровых скоплений (Simoda, Tanikawa, 1970) показывают, что ~90% светимости скопления формируется звездами ярче звезд, находящихся около точки поворота на диаграмме „С—М“. В то же время установлено, что интегральные фотоэлектрические наблюдения охватывают только звезды до точки поворота главной последовательности (Герашенко, Кадла, 1979) и что распределение звезд гигантов и звезд горизонтальной ветви одинаково (Кадла, 1979). Таким образом распределение поверхностной яркости, полученное при помощи поверхностной фотометрии, реально является распределением звезд одной массы (0,8  $M_\odot$ , Iben, Rood, 1970).

Звездные подсчеты, используемые в нашей работе, практически охватывают более яркие звезды и около точки поворота главной последовательности.

Следовательно, в нашей работе модель фон Хернера сравнивалась только с подсистемой ярких звезд соответствующих скоплений.

Открытым остается вопрос о влиянии карликовых звезд на полученные выводы, но, к сожалению, наблюдательных сведений о них в центральных частях скоплений нельзя пока получить.

## Литература

- Герашенко, А. Н., З. И. Кадла. 1979. АЖ, 56, 213.  
Кадла, З. И. 1979. АЖ, 56, 983.  
Bahcall, N., M. Hausman. 1977. Ap. J., 213, 93.  
Chun, M., K. Freeman. 1979. Ap. J., 227, 93.  
Da Costa, G. 1979. AJ, 84, 505.  
Gascoigne, S. C. B., E. Burr. 1956. MNRAS, 116, 570.  
Hoerner, V. S. 1976. Astron. and Astroph., 46, 293.  
Iben, I., R. T. Rood. 1970. Ap. J., 161, 587.  
Illingworth, G., W. Illingworth. 1976. Ap. J., Supp., 30, 227.  
King, I. 1966. AJ, 71, 276.  
King, I., E. Hedemann, G. Hodge, S. Hodge. 1968. AJ, 73, 456.  
Peterson, C. 1976. AJ, 81, 617.  
Simoda, M., K. Tanikawa. 1970. Pub. Astr. Soc. Japan., 22, 143.

## Modulus of Evolution of the Global Clusters

*N. M. Spassova, P. G. Dimitrov*

(Summary)

The observational data of the 14 globular clusters are interpreted from the viewpoint of the theory of von Hoerner (1976).

The center, core and halo are well defined (Fig. 1). All 14 clusters studied herein have a modulus of evolution  $W = 0.74$  and are in the first stage of dynamical evolution.

The observed distribution of the surface brightness of the cluster's halo confirm the theoretical prediction, but for the cluster's core the deviation from the theory is considerable.

*Секция астрономии с Национальной  
астрономической обсерваторией,  
Болгарская академия наук*

*Поступила 30. IX. 1980 г.  
Переработана в январе 1982 г.*