

СИСТЕМЫ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ ЗВЕЗД ВОКРУГ ГАЛАКТИК. I. ПОИСК СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

С.Н.НУРИТДИНОВ, И.У.ТАДЖИБАЕВ

Поступила 1 августа 2013

Принята к печати 6 декабря 2013

Ранее составленный нами сводный каталог [1] систем шаровых скоплений звезд (СШСЗ) вокруг галактик существенно пополнен с учетом опубликованных за последнее десятилетие данных наблюдений и доведен до 252 систем. Выполнен статистический анализ нашего нового сводного каталога. Найден эмпирические зависимости между основными физическими параметрами СШСЗ и их родительских галактик. Эти статистические зависимости получены с достаточной точностью для эллиптических и линзовидных галактик в отдельности. Обсуждены вопросы классификации СШСЗ и связи этих систем с их родительскими галактиками.

Ключевые слова: *галактики: система шаровых скоплений звезд*

1. *Введение.* Наблюдения показывают, что почти все типы галактик камертона Хаббла содержат в себе некоторые, в различной степени выраженные системы шаровых скоплений звезд (СШСЗ). СШСЗ состоят преимущественно из относительно старых шаровых скоплений звезд, которые находятся, в основном, в сферической составляющей галактики или вокруг их основного тела. Так что такую галактику с достаточно богатой СШСЗ в принципе можно моделировать в виде вложенных друг в друга динамических подсистем [2]. По результатам поиска, обработки данных наблюдений СШСЗ отдельных галактик и составлению их списка, в мировой литературе опубликовано уже много работ (см., например, [3-14] и ссылки там, а также следующий раздел ниже). Так, первый список СШСЗ, содержащий 60 систем, был опубликован в 1991 году Харрисом [3]. В работе [4] этот список доведен до 82 систем, а в [1], нами - до 136 систем. Самое большое количество работ посвящено фотометрической обработке изображений отдельных СШСЗ и нахождению соответствующих значений наблюдательных характеристик этих систем и их родительских галактик. Приводить все эти работы здесь никак невозможно. Среди них укажем в следующем разделе данной статьи те публикации, которые были использованы нами при составлении нашего сводного каталога СШСЗ [1,15], а также содержащие в себе важные сведения и ссылки на предыдущие статьи в достаточной мере так, что интересующиеся могли легко найти их.

Тем не менее заметим, что до сих пор отсутствует анализ имеющихся весьма обширных данных наблюдений, не найдены достоверные эмпирические зависимости между их основными физическими параметрами, не разработана классификация СШСЗ, отсутствуют попытки определения некоторых кинематических и динамических параметров этих систем и др. Вот почему составленный нами [1] ранее сводный каталог СШСЗ мы существенно пополнили, доведя количество объектов до 252 систем [15], и выполнили здесь соответствующий его статистический анализ, необходимый для дальнейших исследований.

2. *О данных наблюдений и сводном каталоге СШСЗ.* Ради полноты сложившейся картины вокруг проблем СШСЗ и справедливости перед другими авторами, сначала целесообразно указать хотя бы отдельные основные результаты наблюдательных работ. Как уже сказано нами во *Введении*, приводить все работы нет возможности и потому ограничимся теми, которые являются важными хотя бы с точки зрения составленного нами сводного каталога.

Итак, результаты наблюдательных работ до 1991г. подытожены Харрисом в статье [3], а составленный им список содержит всего 60 СШСЗ на расстояниях и вне Местной группы галактик. Далее Ашман и Зепф [4] в 1998г. обобщили некоторые исследования СШСЗ и расширили список, приведенный в работе [3], до 82 объектов. В этой работе приведены вкратце наблюдательные свойства, отдельные результаты исследования вопросов формирования и эволюции СШСЗ и их родительских галактик. Они считают, что большинство шаровых скоплений сформировалось в то время, когда начали формироваться их родительские галактики. Поэтому шаровые скопления представляют собой уникальные объекты, связанные с ранней эволюцией галактик.

После работы [4] было опубликовано много статей с обнаруженными новыми СШСЗ, но почему-то никто долгие годы не попытался собрать все списки СШСЗ и составить их сводный каталог. Среди работ с новыми СШСЗ следует отметить, например, статью Ван ден Берга [5], где приведены 53 СШСЗ и на их основе изучена корреляция между абсолютными звездными величинами галактик и плотности распределения шаровых скоплений звезд (ШСЗ). Отметим еще работу [6], где указаны 50 СШСЗ, из них 43 относятся к раннему типу галактик. В работе Кунду и Витмора [7] рассмотрены 28 СШСЗ вокруг эллиптических галактик, одновременно теми же авторами [8] были указаны 29 СШСЗ вокруг S0 галактик. А в ряде работ Лотза и др. (см., например, [9,10]) изучены СШСЗ карликовых галактик в скоплениях Дева и Печи. А из работ [11-13] можно брать некоторые данные СШСЗ спиральных галактик. Во всех этих работах в основном, определены количество ШСЗ, значение удельной частоты и на

их основе рассмотрены частные вопросы эволюции родительских галактик. В работе [14] даны данные для 76 СШСЗ в скоплениях Дева и Печи, а особое внимание уделено градиентам их цвета.

Как видно, по проблемам поиска и исследования СШСЗ в последние годы опубликовано достаточно много статей, но, к настоящему времени рассмотрены и изучены лишь отдельные небольшие выборки СШСЗ галактик по наблюдениям. Надо отметить, что ранее составленный нами каталог [1] не содержит не только многие СШСЗ, изученные в течение последнего десятилетия, но и ряд других физических характеристик известных систем. Кроме того, до сих пор не учтена возможность определения необходимых отдельных характеристик статистическим путем, получая сначала эмпирические зависимости по отдельным типам галактик.

Это означает в свою очередь, что необходимо прежде всего пополнить имеющийся сводный каталог СШСЗ [1] и провести затем полный статистический анализ. С этой целью и для исследования свойств СШСЗ нами найдено дополнительно 116 СШСЗ по результатам наблюдательных данных, опубликованных за последнее десятилетие. В результате количество СШСЗ в нашем новом сводном каталоге [15] достигло до 252 объектов. Опыт показывает, что процесс пополнения и обновления каталога является всегда непрерывным и время от времени весьма необходим статистический анализ собранного материала.

На рис.1 мы приводим гистограмму распределения 252 СШСЗ по типам галактик. Интересно, что галактик типа E7 вообще нет в нашем каталоге, они либо не имеют вокруг себя СШСЗ, либо не обладают ею в заметной форме. Общее число эллиптических галактик по отношению к нормальным спиральным галактикам больше примерно на величину $N_{элл}/N_{спир} = 6.8$. Если же в S-галактики включим также бароподобные спиральные галактики, то это отношение станет равным 5.6. В процентном

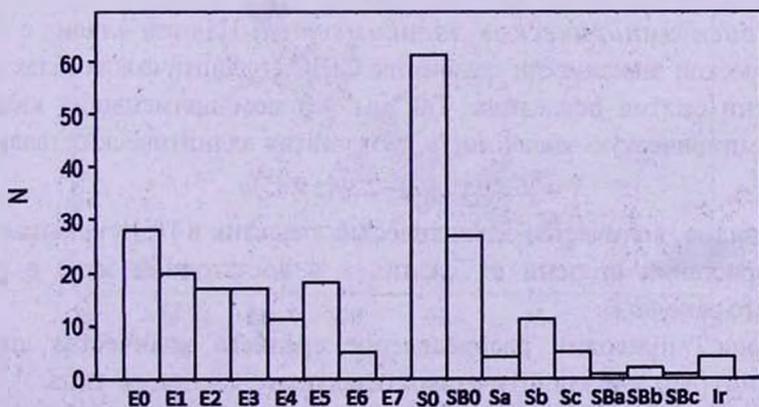


Рис.1. Гистограмма распределения СШСЗ по типам галактик (N - количество галактик, обладающих СШСЗ в нашем каталоге).

отношении в нашем каталоге [15] соотношение типов галактик имеет следующий вид:

$$E:(S_0+SB_0):(S+SB):I_r = 54:35:9:2, \quad (1)$$

причем отношение числа эллиптических галактик к числу всех других типов галактик равно 1.1. Также видно, что с увеличением значения сжатия эллиптических галактик количество E-галактик, содержащие СШСЗ, уменьшается.

В табл.1 дано процентное сравнение по типам галактик нашего нового сводного каталога со списками, которые опубликованы в работах [1,3,4].

Таблица 1

ПРОЦЕНТНОЕ СРАВНЕНИЕ ТИПОВ ГАЛАКТИК, ИМЕЮЩИХ СШСЗ

Авторы	Число СШСЗ	E, %	S ₀ +SB ₀ , %	S+SB, %	I _r , %
В списке [3]	60	57	15	23	5
В списке [4]	82	69	11	17	3
В сводном каталоге [1]	136	54	31	12	3
В сводном каталоге [15]	252	54	35	9	2

Результаты сравнения показывают, что каждый раз среди типов галактик, содержащих СШСЗ, большая доля приходится именно эллиптическим галактикам. Но если различать в отдельности виды E_n, то лидируют S₀-галактики, а затем идут E₀, SB₀, E₁ и т.д. В отличие от работ [3,4] у нас процент линзовидных галактик доминирует над спиральными галактиками. Этот факт объясняется, в основном, использованными нами результатами наблюдений космического телескопа Хаббла, который выполнял также наблюдения линзовидных галактик. Подробный анализ нового сводного каталога [15] по физическим параметрам мы приводим ниже в следующем разделе.

3. *Поиск эмпирических зависимостей.* Начнем анализ с поиска статистической зависимости количества СШСЗ эллиптических галактик (N) от степени сжатия последних. Так мы методом наименьших квадратов нашли эмпирическую зависимость N от сжатия эллиптических галактик n :

$$N = 25.57(\pm 2.92) - 2.39(\pm 0.65)n. \quad (2)$$

Как видно, количество эллиптических галактик в [15] уменьшается по мере нарастания степени их сжатия n в достаточной мере в рамках линейного закона.

На рис.2 приводим распределение среднего количества шаровых скоплений $\langle N_{GC} \rangle$ в эллиптических галактиках заданного типа.

Видно, что с ростом сжатия эллиптической галактики логарифм от среднего количества скоплений в них уменьшается довольно медленно.

Методом наименьших квадратов мы нашли эту логарифмическую зависимость среднего количества скоплений от сжатия эллиптической галактики:

$$\log\langle N_{GC} \rangle = 3.77(\pm 0.16) - 0.12(\pm 0.04)n. \quad (3)$$

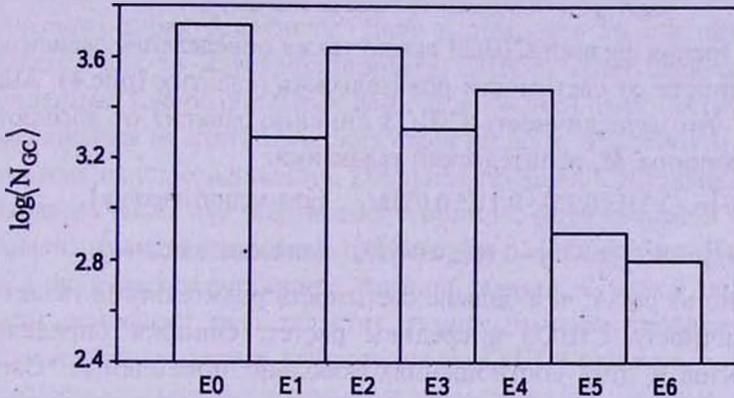


Рис.2. Распределение среднего количества ШСЗ в эллиптических галактиках.

На рис.3 приведена зависимость абсолютной звездной величины родительской галактики от количества ШСЗ N_{GC} в эллиптических (обозначено темными кружочками) и линзовидных галактиках (обозначено светлыми кружочками). Видно, что с увеличением количества скоплений в ШСЗ в системе значение абсолютной звездной величины увеличивается, т.е. чем больше количество ШСЗ, тем родительская галактика ярче. Нами найдена опять-таки логарифмическая зависимость между этими параметрами для

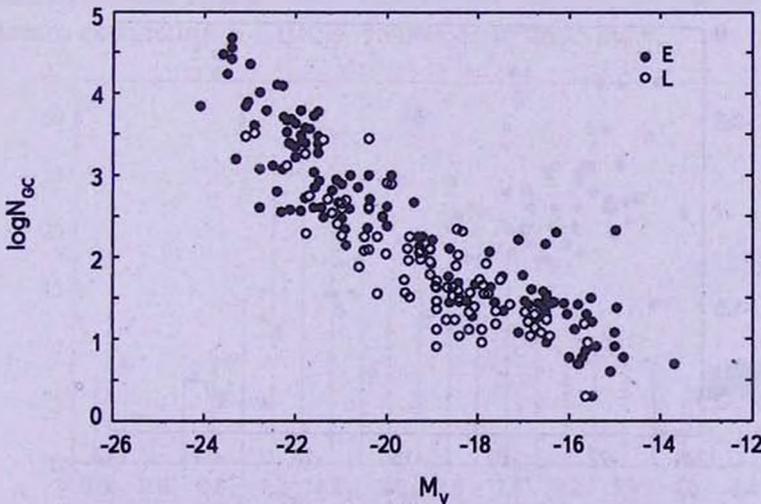


Рис.3. Зависимость между логарифмом от количества ШСЗ и абсолютной звездной величиной родительской галактики ШСЗ (светлые кружки - для S0-галактик, темные кружки - для E-галактик)

Е- и S0-галактик в отдельности. Оказалось, что для эллиптических галактик

$$\log N_{GC} = -4.35(\pm 0.26) - 0.35(\pm 0.01)M_V, \quad (4)$$

а для линзовидных -

$$\log N_{GC} = -4.80(\pm 0.47) - 0.35(\pm 0.02)M_V. \quad (5)$$

С точки зрения физики СШСЗ важно также определение зависимости их металличности от светимости родительских галактик (рис.4). Анализ показывает, что металличность СШСЗ линейно зависит от абсолютной звездной величины M_V родительской галактики:

$$[Fe/H] = -3.31(\pm 0.35) - 0.11(\pm 0.02)M_V \quad (\text{для эллиптических}), \quad (6)$$

$$[Fe/H] = -4.22(\pm 0.79) - 0.16(\pm 0.04)M_V \quad (\text{для линзовидных}). \quad (7)$$

Как видно из рис.4, чем больше светимость родительской галактики, тем металличность СШСЗ в среднем растет. Ошибки определения коэффициентов в этих соотношениях довольно приемлемые. Следует отметить, что для линзовидных галактик зависимостью металличности от M_V впервые интересовались авторы [8]. Найденная этими авторами зависимость

$$[Fe/H] = -4.9(\pm 0.6) - 0.19(\pm 0.03)M_V \quad (7')$$

близка к нашей (7). Сравнивая (7) и (7') заключаем, что соответствующие коэффициенты близки, но (7) явно точнее, чем (7'), так как наблюдательный материал в [8] содержит лишь 35 линзовидных галактик, а в нашем каталоге [15] их 88.

Интересно, что правые части выше изученных нами зависимостей (2)-(7) аппроксимируются лучше всего линейными функциями, чем квадратичными.

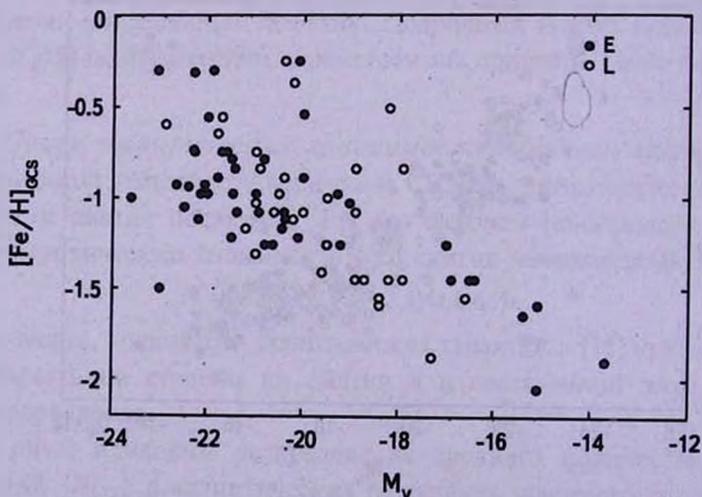


Рис.4. Зависимость металличности СШСЗ от абсолютной звездной величины родительской галактики (светлые кружки - для S0-галактик, темные кружки - для E-галактик).

Отметим также, что найти подобные зависимости для спиральных галактик пока не удастся из-за недостатка данных наблюдений.

4. *Две простые классификации СШСЗ.* Далее мы интересовались вопросами классификации СШСЗ по каким-либо их наблюдаемым физическим характеристикам. Дело в том, что до сих пор никто не попытался как-то классифицировать СШСЗ, хотя глубокое изучение накопленных наблюдательных данных и физики этих систем требует не только анализа их статистических свойств, но и, в частности, разработки возможных их классификаций. Изучение проблем классификации СШСЗ необходимо также для построения теории их формирования и эволюции.

Анализ имеющихся данных наблюдений с точки зрения классификации СШСЗ оказывается достаточно трудной задачей. С одной стороны, из-за яркости основного тела галактик самой сложной проблемой является непосредственное прямое наблюдение их СШСЗ для того, чтобы изучить поверхностную яркость системы, распределение там шаровых скоплений и др. Это - непростая наблюдательная работа. С другой стороны, решение проблемы классификации упирается на имеющийся широкий разброс значений параметров, а иногда даже на противоречивые ситуации по отдельным данным наблюдений. Поэтому сегодня мы можем предложить пока только две возможные простые классификации: одна по степени богатства скоплениями в системе, а другая - по светимости родительской галактики.

4.1. *Классификация СШСЗ по степени их богатства скоплениями.* Из физических соображений ясно, что чем СШСЗ богаче в среднем по количеству в них шаровых скоплений, тем масса родительской галактики должна быть больше. Рассмотрим гистограмму (рис.5) количества шаровых скоплений в СШСЗ, точнее величины $\log N_{GC}$

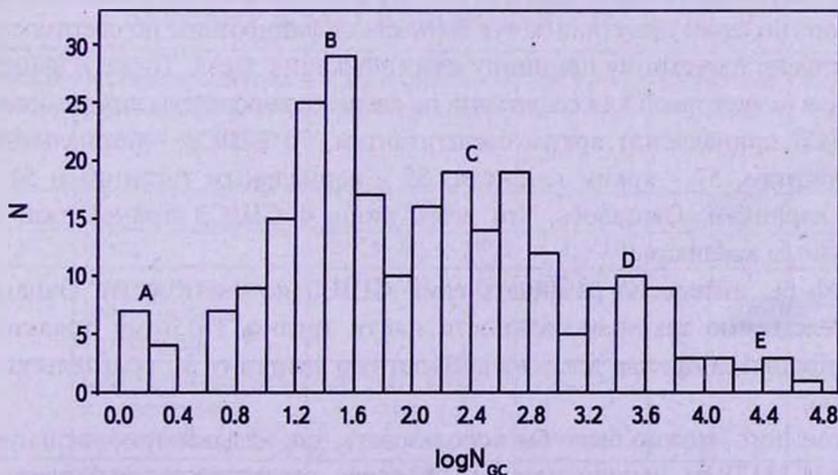


Рис.5. Гистограмма величины логарифма от количества скоплений в СШСЗ.

Как видно, условно можно выделить пять явно отличающихся групп (см. табл.2). Оказалось, что нельзя пренебречь группой "А" очень бедных СШСЗ, так как количество таких галактик в нашем каталоге 27. Они содержат всего до одного десятка скоплений, а сами эти галактики относятся, в основном, к типу IrII и E6. Напротив, системы класса "богатых" СШСЗ ("D") содержат несколько тысяч скоплений и относятся, чаще всего, к типу E1, E2 или E3, а СШСЗ класса "наиболее богатых" ("E") содержат несколько десятков тысяч скоплений и принадлежат главным образом к cD и E0 типам галактик.

Таблица 2

ПРОСТАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СШСЗ ПО ИХ БОГАТСТВУ
ШАРОВАМИ СКОПЛЕНИЯМИ

Обозначение класса	Классы СШСЗ	$\log N_{gc}$	Количество СШСЗ в каталоге	Наиболее характерные типы галактик
A	Наиболее бедные	≤ 1	27	E6, IrII, dE, Sc
B	Бедные	(1; 2)	96	Sa-Sb, S0, SB0, dE0-dE5
C	С умеренным количеством скоплений	(2; 3)	77	E4-E5, SB0
D	Богатые	(3; 4)	40	E1-E3
E	Наиболее богатые	≥ 4	9	cD, E0

Статистика показывает, что A:B:C:D:E=11:38:31:16:4. Как видно из табл.2, предлагаемая нами классификация является весьма простой и легко запоминаемой по значению $\log N_{gc}$

4.2. *Классификация СШСЗ по M_v родительской галактики.* Как известно, сами галактики могут быть классифицированы по светимости [16] согласно известному принципу классификации звезд. Тогда, в нашем каталоге в рамках такой классификации по светимости родительских галактик, 11 СШСЗ принадлежат ярким сверхгигантам, 70 СШСЗ - нормальным сверхгигантам, 57 - ярким гигантам, 55 - нормальным гигантам и 54 - ярким карликам. Оказалось, что всего лишь 4 СШСЗ принадлежат к нормальным карликам.

Было бы интересно различать сами СШСЗ по светимости. Однако непосредственно такой возможности найти трудно. Поэтому придется ориентироваться прежде всего на абсолютную величину M_v родительской галактики.

Кроме того, можно было бы использовать, так называемую, удельную частоту S_n [17] из нашего каталога, которая характеризует количество шаровых скоплений на единицу светимости галактики. Но по этой величине

не удается как-то однозначно классифицировать СШСЗ, так как S_N является функцией не только от M_V , но и от количества скоплений в системе, т.е. от N_{GC} . Следовательно, можно интересоваться значениями S_N/N_{GC}

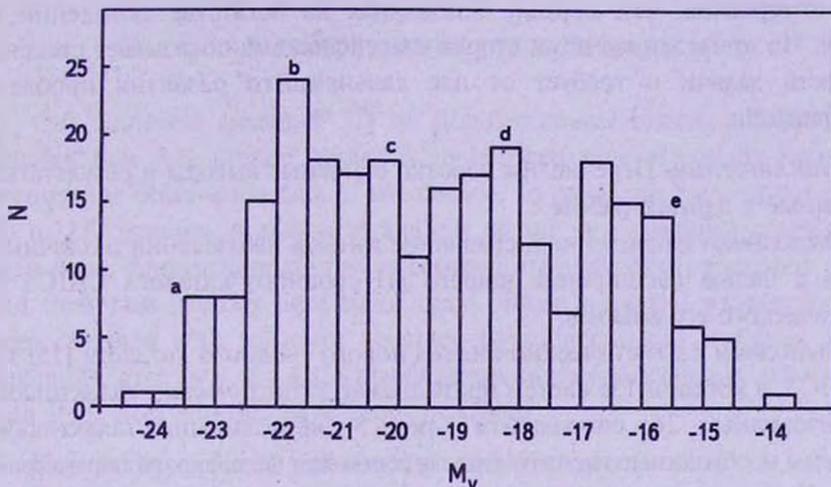


Рис.6. Гистограмма по абсолютной звездной величине родительской галактики.

На рис.6 дана гистограмма величины M_V . Видно, что в принципе можно опять-таки различать пять классов по M_V . Условные и, на наш взгляд, простые названия этих пяти классов с соответствующими значениями M_V и $\log(S_N/N_{GC})$ даны в табл.3.

Так, например, если абсолютная величина M_V родительской галактики равна или ярче $-22^m.5$, то ее СШСЗ может быть отнесена к чпу наиболее

Таблица 3

ВАРИАНТ КЛАССИФИКАЦИИ СШСЗ ПО M_V

Обозначение класса	Условные названия классов СШСЗ по степени их яркости	M_V родительской галактики	$\log(S_N/N_{GC})$	Количество СШСЗ	Наиболее характерные типы галактик
a	Ярчайшие	$\leq -22^m.5$	≤ -3	18	cD
b	Яркие	$-22^m.5 < M_V \leq -21^m.3$	$(-3; -2.5]$	48	E0-E3
c	Умеренно яркие с прерывистыми структурами	$-21^m.3 < M_V \leq -20^m$	$(-2.5; -2]$	43	E5, S0
d	Слабые по яркости с дискретной структурой	$-20^m < M_V \leq -17^m.5$	$(-2; -1]$	71	SB0
e	Наиболее тусклые или карликовые	$> -17^m.5$	> -1	61	dE0, dE5

ярких систем, а, если слабее, чем $-17^m.5$, то это - наиболее тусклые или карликовые системы.

Нам кажется, что полученная здесь вторая классификация СШСЗ менее интересная, чем первая, основанная на богатстве скоплений в системе. Но приведенная нами вторая классификация показывает степень сложности задачи и требует от нас дальнейшего развития проблем классификации.

5. *Заключение.* Перечислим коротко основные выводы и результаты, полученные в данной работе.

1. Выполнено накопление и сравнение данных наблюдений различных авторов с целью расширения нашего [1] сводного каталога СШСЗ и статистического его анализа.

2. Выполнен статистический анализ нового сводного каталога [15] из 252 СШСЗ, в котором 135 систем принадлежат эллиптическим галактикам, 88 - линзовидным, 24 - спиральным и лишь 5 - неправильным галактикам. Построены необходимые гистограммы по основным физическим параметрам СШСЗ. Количество шаровых скоплений в эллиптических галактиках явно зависит от степени их сжатия. При этом оно максимально в E0, а в E7 скопления отсутствуют вообще.

3. Найден эмпирические зависимости N_{gc} и $[Fe/H]$ от M_v родительской галактики для эллиптических и линзовидных галактик в отдельности. Зависимость N_{gc} от M_v является логарифмической, а металличность от M_v - описывается с достаточной точностью линейной функцией.

4. Предложены две простые классификации СШСЗ, состоящие из пяти классов каждая. Одна из них основана на степени богатства (или бедности) СШСЗ шаровыми скоплениями. Другая же - выполнена по абсолютной звездной величине M_v родительской галактики. В целом отмечено, что проблема классификации СШСЗ упирается порой на ряд противоречивых факторов и пока нельзя считать ее решенной полностью.

Отметим, что процесс пополнения каталога является непрерывным и следующий будущий новый сводный каталог СШСЗ должен содержать также спиральные галактики, достаточные для их статистического анализа.

Работа выполнялась в рамках гранта № Ф-2-54 ККРНТ РУз.

Кафедра астрономии и физики атмосферы Национального университета Узбекистана, e-mail: nur200848@mail.ru

GLOBULAR STAR CLUSTER SYSTEMS AROUND GALAXIES. I. SEARCH FOR STATISTICAL RELATIONSHIPS

S.N.NURITDINOV, I.U.TADJIBAEV

Our compiled catalogue [1] of globular cluster systems (GCS) around galaxies that was formed earlier is replenished now essentially taking into account the observation data of last decade. In result this catalogue is reached up to 252 systems. A statistical analysis of our new compiled catalogue has been done. Empirical relationships between main physical parameters of GCS and their host galaxies have been found. These statistical relationships have been obtained with sufficient accuracy for elliptical and lenticular galaxies separately. Problems of a GCS classification and a connection of these systems with their host galaxies have been discussed.

Key words: *galaxies: globular star cluster systems*

ЛИТЕРАТУРА

1. *K.T.Mirtadjieva, S.N.Nuridinov, I.U.Tadjibaev*, *Ulugh-Beg Lectures*, 1, 37, 2004.
2. *М.Г.Абрамян*, "Динамика вложенных гравитирующих систем", Автореферат на соиск. уч.ст. док.н., Ереван, 1986.
3. *W.E.Harris*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 29, 543, 1991.
4. *K.Ashman, S.Zepf*, *Globular cluster Systems*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
5. *S. van den Bergh*, *Astrophys. J.*, 492, 41, 1998.
6. *K.Gebhardi, M.Kissler-Pating*, *Astron. J.*, 118, 4, 1526, 1999.
7. *A.Kundu, B.Whitmore*, *Astron. J.*, 121, 6, 2950, 2001.
8. *A.Kundu, B.Whitmore*, *Astron. J.*, 122, 1251, 2001.
9. *J.M.Lotz, R.Telford, H.C.Ferguson et al.*, *Astrophys. J.*, 552, 572, 2001.
10. *J.M.Lotz, B.W.Miller, H.C.Ferguson*, *Astrophys. J.*, 613, 262, 2004.
11. *R.Chandar, B.Whitmore, M.G.Lee*, *Astrophys. J.*, 611, 220, 2004.
12. *P.Goudfrooij et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 343, 665, 2003.
13. *K.L.Rhode et al.*, *Astron. J.*, 134, 1403, 2007.
14. *Ch.Liu et al.*, *Astrophys. J.*, 728, 116, 2011.
15. <http://nuu.uz/about/484-compiled-catalogue-of-the-globular-cluster-systems-ii.html>
16. Галактики. Серия "Астрономия и астрофизика", Ред.-сост. В.Г.Сурдин, М.: Физматлит, 2013.
17. *W.E.Harris, S. van den Bergh*, *Astron. J.*, 86, 11, 1627, 1981.

