



На пути к решению проблемы строения и эволюции Галактики. II. Структура и последовательность ключевых событий

В.А. Захожай

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина

Приводятся современные количественные характеристики подсистем Галактики, играющие важную роль при построении моделей структуры и эволюции Галактики. Анализируется компилятивная модель общей эволюции Галактики, и обсуждаются проблемы, связанные с ее достоверностью и завершенностью.

НА ШЛЯХУ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ БУДОВИ І ЕВОЛЮЦІЇ ГАЛАКТИКИ. II. СТРУКТУРА ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ КЛЮЧОВИХ ПОДІЙ, Захожай В.А. — Приводяться сучасні кількісні характеристики підсистем Галактики, які відіграють важливу роль при побудові моделей структури і еволюції Галактики. Аналізується компілятивна модель загальної еволюції Галактики і обмірковуються проблеми, пов'язані з її достовірністю та завершеністю.

ON THE WAY TO DECISION OF THE GALAXY STRUCTURE AND EVOLUTION PROBLEM. II. STRUCTURE AND CONSEQUENCE OF KEY EVENTS, by Zakhzhaj V.A. — Modern quantitative characteristics of Galaxy subsystems, that are important for models of its structure and evolution, are adduced in the paper. Compiled model of general Galaxy evolution and problems of its reliability and completeness are discussed.

1. ВВЕДЕНИЕ

Анализ теоретических исследований и наблюдательных данных о Млечном Пути, позволяют составить представления о строении и эволюции подсистем Галактики, которые сложились к началу XXI века [11]. Имеются основания под галактической структурой настоящего возраста понимать: двухрукавную¹ спиральную [14, 15] Галактику, состоящую из двухкомпонентного (толстого и тонкого) диска, окруженного гало, погруженного в массивную корону и промежуточной подсистемы — балджа, окружающего центр Галактики (высокой пространственной плотности, где не наблюдается вещество²).

Из этого также следует, что в результате полученных в последнее время наблюдательных данных формируются современные представления о масштабах подсистем Галактики, распределении и природе вещества, из которого они состоят, последовательности и темпах их образования. Не всё в формируемых представлениях получается однозначно. Необходим анализ, полученных численных значений характеристик Галактики для их согласования, или выявления тех характеристик, которые входят в противоречие со складывающейся картиной Галактики.

Целью настоящей работы является, составление количественных представлений о ключевых характеристиках Галактики и возрасте подсистем, следующих, в основном, из исследований Галактики за последнее двадцатилетие (см., например, [2, 19, 27, 28, 51, 52, 97–100, 117, 119, 203] и др.), динамика которых была составлена в предыдущей статье [11].

Здесь умышленно опущен материал по статистическим свойствам Галактики и распределению металличности в ее подсистемах. Подробное распределение металличностей в подсистемах в достаточной мере анализируется при расчете моделей химической эволюции Галактики. Анализ изменений статистических свойств Галактики в процессе ее эволюции, предполагается рассмотреть в дальнейших работах автора.

2. СТРУКТУРА ГАЛАКТИКИ

Экстагало (корона). Согласно Эйнасто и др. [71], исследовавших динамику спутниковых галактик и Млечного Пути, корона Галактики имеет характерный радиус ≈ 75 кпк, масса которой на порядок больше массы в пределах «видимого» звездного диска Галактики $R \approx 15$ кпк. В настоящее время шаровые скопления, принадлежащие сферической подсистеме, прослеживаются до 120.5 кпк (AM1)

¹ Двухрукавная модель спиральной структуры нашей Галактики наиболее разработана. Однако нельзя исключать, что она может оказаться трех, или даже четырехрукавной [21].

² Предположительно, там находится черная дыра — см. следующий раздел.

от центра Галактики [2, 92], а за внутреннюю границу короны принимают галактоцентрический радиус 20 кпк. В пределах 20–120.5 кпк обнаружено 19 шаровых скоплений [2], с пространственным уплощением по оси Z (шкала высот³ $Z_0 \sim 30$ кпк), и, примерно, половину известных ближайших галактических спутников Млечного Пути [22], включая Магелланов Поток. Эту область, иногда, относят к экстрагало (внешнему гало).

Шаровые скопления короны отличаются от скоплений всех других подсистем Галактики не только пространственным расположением, но и астрофизическими параметрами [2]. Они имеют прямое вращение (с орбитальными скоростями в пределах $V_{\text{вр}} \approx 40 \div 480$ км/с), большие дисперсии скорости звезд ($\sigma_V = 126 \pm 24$ км/с)⁴, среднее значение металличностей $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1.65 \pm 0.06$ и отсутствие градиента металличностей с галактоцентрическим расстоянием и удалением их от плоскости Галактики: $\frac{d[\text{Fe}/\text{H}]}{dR} = \frac{d[\text{Fe}/\text{H}]}{d|Z|} = 0.000 \pm 0.002$. Согласно ван ден Бергу [200], размеры скоплений в среднем становятся больше с удалением от центра Галактики и в пределах 40 кпк подчиняются закону $r_h \propto \sqrt{R}$. С этим законом согласуется полученный Борковой и Марсаковым [2] наклон (0.44 ± 0.04) прямой среднеквадратической регрессии в координатах ($\lg R, \lg r_h$). Массы скоплений и их параметр центральной концентрации с удалением от центра Галактики уменьшаются и являются, в среднем, самыми низкими: ($\langle \lg(M/M_\odot) \rangle = 4.8 \pm 0.2$, $\langle \lg \rho_0 \rangle = 1.6 \pm 0.6$), по сравнению с шаровыми скоплениями других населений Галактики.

На основании изучения галактических профилей атомарного и молекулярного водорода [57, 63, 108, 110, 173], звездного профиля галактического диска [85, 113, 205], моделей Галактики, основанных на ИК-наблюдениях, со Скайлэба и ИРАС [103, 141, 163], Прантзос и Ауберт [153] пришли к выводу, что во внешней Галактике (т.е. дальше ~ 15 кпк) поверхностные плотности звезд и газа соизмеримы. В короне, по-видимому, сосредоточена большая часть вещества — $(7-11) \cdot 10^{11} m_\odot$ [25, 72], так, что, согласно модели Эйнасто [72], в пределах 75 кпк сосредоточена масса $1.2 \cdot 10^{12} m_\odot$. Такой массы достаточно для удержания гравитационным полем короны ближайших карликовых галактик-спутников нашей звездной системы в пределах их орбит (т.е. 75 кпк) [16, стр.172] и стабилизации самогравитирующего равновесного галактического диска⁵. Эти результаты не противоречат современным моделям химической эволюции, согласно которым большая часть массы и в ранние эпохи Галактики находилась в экстрагало [149–151]. Масса 5 скоплений, согласно [2], находящихся в области 75–121 кпк составляет $1.8 \cdot 10^6 m_\odot$. Известная масса, которая заключена во всех галактиках спутниках, составляет всего 1.5% от массы сосредоточенной, согласно [72], в пределах 75 кпк; а общая масса галактик-спутников находящихся в области 75–121 кпк, согласно [22], — $2.5 \cdot 10^7 m_\odot$. Таким образом, за общую современную массу Галактики, с точностью до 2%, можно принять значение⁶ $1.2 \cdot 10^{12} m_\odot$, примерно неотличимое от массы системы Млечного Пути, включающей ее галактики-спутники и находящиеся в этой области шаровые скопления.

Гало. Объекты населения гало наблюдаются на высотах над галактическим экватором более 2 кпк, а шаровые скопления гало — в области ближе 20 кпк от центра Галактики. Согласно Вокулеру [62], яркость сферической составляющей падает по законам $R^{-1/4}$.

В гало все население шаровых скоплений делится на две отдельные группы по строению горизонтальной ветви, разделенных по пространственному расположению, кинематическим параметрам и химическому составу со средними металличностями $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = 1.71 \pm 0.05$ и $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1.56 \pm 0.07$ [2]. Подсистема с экстремально голубыми горизонтальными ветвями занимает в Галактике сферический объем с радиусом ~ 9 кпк, имеет большую скорость вращения и дисперсию скоростей ($V_{\text{вр}} = 77 \pm 33$ км/с, $\sigma_V = 129 \pm 19$ км/с), заметные и равные по величине отрицательные и вертикальные градиенты металличности и в среднем является самой старой (подсистема старого гало). Население скоплений с горизонтальными ветвями промежуточного типа (подсистема молодого гало) на плоскости YZ хорошо вписывается в окружность с радиусом ≈ 19 кпк. В проекции на плоскость XZ эти скопления занимают меньшую площадь. При аппроксимации ее галактоцентрическим эллипсом, ее полуоси равны 18 кпк и 10 кпк. Малая полуось перпендикулярна к оси Z и лежит под углом $\approx 30^\circ$ к X -координате. Подсистема молодого гало имеет преимущественно обратное вращение (с орбитальными скоростями в пределах $V_{\text{вр}} \approx -80 \pm 30$ км/с) при высокой дисперсии остаточных скоростей

³Характеристика, вводимая при аппроксимации распределения объектов или систем экспоненциальным законом: $n(Z) = Ce^{-Z/Z_0}$, где $C = \text{const}$.

⁴Здесь и далее, если специально не оговорено, приводятся среднеквадратические отклонения.

⁵Равновесный диск устойчив, когда на вращение приходится не более ≈ 0.3 полной кинетической энергии системы [142], а дисперсия скоростей звезд не менее чем в полтора раза превосходит скорость вращения [16, стр.176].

⁶Точность полученного Эйнасто [72] этого значения заведомо не выше 2%.

($\sigma_V = 140 \pm 18$ км/с).

Всего в области гало сейчас известно 84 шаровых скоплений включающих 43 скопления старого и 41 скопление молодого гало. Средние массы и размеры скоплений молодого гало систематически несколько выше, чем у подсистемы старого гало ($\langle \lg(M/M_\odot) \rangle = 5.5 \pm 0.1$ и $\langle \lg(M/M_\odot) \rangle = 5.4 \pm 0.1$, $\langle r_h^* \rangle = 4.0 \pm 0.4$ и $\langle r_h^* \rangle = 3.4 \pm 0.3$ соответственно), в то время как центральные концентрации имеют обратную тенденцию ($\langle \lg \rho_0 \rangle = 3.2 \pm 0.3$ и $\langle \lg \rho_0 \rangle = 3.8 \pm 0.3$ соответственно для молодого и старого гало) [2].

Вся светящаяся масса гало оценивается приблизительно в 100 раз больше массы всех шаровых скоплений [105]. Тогда, с учетом каталога шаровых скоплений Борковой и Марсакова [2], общая масса известных шаровых скоплений составляет $\approx 3 \cdot 10^7 m_\odot$, а масса гало ожидается $\approx 3 \cdot 10^9 m_\odot$. Это находится в согласии с принимаемым отношением массы гало к массе диска — 0.1, при моделировании химической эволюции Галактики (см., например, [76, 150]).

Вблизи галактической плоскости ($l = 240^\circ$, $b = 8^\circ$), на расстоянии $R_{GC} = 12.0 \pm 1.2$ кпк (в направлении на созвездие Большого Пса) наблюдается эллиптический сгусток, содержащий большое количество красных гигантов и остаток карликовой галактики Стрельца [117]. Эта структура окружена небольшой группой шаровых скоплений (NGC 1851, NGC 1904, NGC 2298 и NGC 2808)⁷ и множеством рассеянных скоплений.

В направлении на антицентр Галактики обнаружена «Северная дуга», простирающаяся из плоскости Галактики в $l \sim 230^\circ$ до $b \sim +30^\circ$ в $l \sim 140^\circ$. Между $140^\circ < l < 180^\circ$ она смещена на ~ 20 над плоскостью Галактики, с расстоянием $R_{GC} = 18.1 \pm 0.1$ кпк, и отделена от диска в радиальном направлении по лучу зрения, имея ширину Гауссова профиля $11.6^\circ \pm 1.9^\circ$ [117].

«Южная дуга» наблюдается на галактических широтах $110^\circ < l < 210^\circ$, от центра Галактики на $R_{GC} = 12.0 \pm 15.1$ кпк, и может быть продолжением структуры, обнаруженной ранее в южном полушарии ($180^\circ < l < 227^\circ$, $R_{GC} = 20 \pm 2$ кпк) [97]. Еще два сгустка обнаружены в направлении на галактический балдж вблизи галактической плоскости: один находится на расстоянии $R_{GC} < 14.5$ кпк между $230^\circ < \Phi < 270^\circ$, другой — между $90^\circ < \Phi < 130^\circ$ ($R_{GC} = 10.5$ кпк)⁸.

Здесь же находятся самые крупные высокоскоростные облака: на расстоянии около 8.5 кпк от Солнца — Комплекс А [3] и высокоскоростной⁹ Комплекс С: газовое облако с низкой металличностью ($[O/H] = -0.79^{+0.12}_{-0.16}$)¹⁰, расположенный ниже всех облаков Млечного Пути — около 3.5 кпк (в направлении на $l = 120^\circ 56$, $b = 58^\circ 05$), от галактической плоскости [207], и опускающийся на Млечный Путь [176].

Диск. Соубирен [184] и Ойа и др. [138, 139] произвели новое разделение диска на толстый и тонкий, комбинируя галактоцентрические кинетические параметры звезд. Законы для плотности звезд с $M_v \geq 3.5^m$ (по данным обзора UBVR-фотометрии и собственных движений звезд в разных галактических направлениях и других обзоров) выражаются в виде двух экспонент со шкалой высоты 260 ± 50 пк (тонкий диск) и 760 ± 50 пк (толстый диск) [140]. При этом вторая экспонента соответствует толстому диску с локальной плотностью $7.7^{+2.5}_{-1.5}\%$ относительно тонкого. Шкалы длин для двух этих населений соответственно равны 2.3 ± 0.6 кпк и 3 ± 1 кпк. Толстый диск ведет себя как население, кинематически отличное от тонкого диска. Вертикальный градиент дисперсии скоростей в тонком диске достигает ~ 20 км/с для звезд старше миллиарда лет [81], а в толстом диске ~ 45 км/с [109]. Как показано Робинот и др. [164], при сравнении опубликованных подсчетов звезд и распределения цвета в соседних полях оказывается, что расхождения в плотности звезд несколько больше, чем случайные фотометрические ошибки.

Бирз и Соммер-Ларсен [33], обнаружили перекрытие диапазонов металличности звезд, населяющих толстый диск и гало. Различить их можно только рассматривая кинематические и химические характеристики отдельных звезд, что продемонстрировано зависимостями между галактической орбитальной скоростью и металличностью звезд в работах Карни и др. [43] и Ниссена и Шустера [135]. Данные в работах по кинематическим и химическим характеристикам звезд населений тонкого и толстого дисков и гало получены также из исследований звезд с большим собственным движением [43, 135, 168, 171] и из обзоров спектроскопических наблюдений, проведенных с объективной призмой

⁷Все они принадлежат подсистеме молодого гало, согласно каталога шаровых скоплений Борковой и Марсакова [2].

⁸Здесь приведены координаты сгустков, согласно галактоцентрических координат (R, Φ, z , вслед за [117]), ограничивающих область $270^\circ < l < 90^\circ$ и $|b| < 30^\circ$.

⁹Измеренные пространственные скорости двух фрагментов дали значения примерно -128 и -112 км/сек [176], соответственно.

¹⁰Для других направлений на Комплекс С Коллинз и др. [45] приводят аналогичные значения металличности: $[O/H] = -0.71^{+0.36}_{-0.25}$, $[O/H] = -0.71^{+0.25}_{-0.17}$.

[134, 137].

К населению толстого диска следует отнести 30% звезд с металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.5$, и практически все звезды с $-1.0 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.5$, находящиеся на расстоянии 1 кпк от Солнца [33]. В галактической плоскости металличность звезд, как функцию галактического расстояния R (в кпк), можно оценить из полученной автором по данным Джейнса [101] о DDO-фотометрии красных гигантов в 41 рассеянном скоплении и в поле Галактики:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = (-0.005 \pm 0.001)R^2 + (0.049 \pm 0.0027)R - (0.121 \pm 0.139). \quad (1)$$

К населению диска в целом относится большинство звезд из выборки 200 F–G-карликов Эдвардсона и др. [66], которые находились в момент их образования на максимальных расстояниях от галактической плоскости $h_{\text{max}} < 0.5$ кпк.

Распределение нейтрального водорода HI по галактическому диску приблизительно постоянно в диапазоне 4–10 кпк. В диапазоне галактоцентрических расстояний 4–14 кпк градиент для кислорода предсказывается градиент $\frac{d[\text{O}/\text{H}]}{dR} \approx 0.85 \text{ кпк}^{-1}$ и аналогичные значения получены для азота и железа. Плотность всего газа возрастает к центру, достигая максимума на расстоянии 4–6 кпк от центра Галактики [119].

В подсистеме высокоскоростных звезд, в толстом диске выявлена подсистема, состоящая из 38 шаровых скоплений ($V_{\text{вр}} = 165 \pm 38 \text{ км/с}$, $\sigma_V = 23 \pm 30 \text{ км/с}$), огибающей которой служит окружность с радиусом ~ 7 кпк в плоскости XY и эллипс с Z -полуосью ≈ 3 кпк на плоскости YZ (со шкалами длин и высот в кпк: $X_0 = 3.0 \pm 0.5$, $Y_0 = 2.0 \pm 0.5$, $Z_0 = 1.0 \pm 0.2$) [2]. Средняя металличность скоплений существенно ниже, $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -0.56 \pm 0.05$, а вертикальный градиент металличности самый большой, $\frac{d[\text{Fe}/\text{H}]}{dR} = 0.163 \pm 0.060$, по сравнению с шаровыми скоплениями гало и короны. Средние массы и размеры скоплений ниже, чем у скоплений гало ($\langle \lg(M/M_{\odot}) \rangle = 5.2 \pm 0.1$, $\langle r_h^* \rangle = 2.6 \pm 0.3$), центральные концентрации примерно такие же — $\langle \lg \rho_0 \rangle = 3.5 \pm 0.7$.

По кривым вращения подсистем нейтрального и ионизированного водорода, молекулярных облаков Галактики определены радиусы, где заканчиваются резкие падения плотности в диске: $R_d = 7.2 \pm 0.2$ кпк. и $14.9_{-0.6}^{+0.4}$ кпк. Излом на кривой плотности объясняется внешним усечением диска Галактики и отражением перехода на $R_h = 13 \pm 1$ кпк от однородного внутреннего гало к внешнему с быстрым падением плотности [19].

Как ранее уже отмечалось [11], наблюдения дают возможность предположить, что быстрый приток металлодефицитного газа, направленный к диску Галактики является обычным явлением [59, 206, 208]. Значения для современной скорости притока газа в галактический диск, основанные на быстрых облаках ($\geq 250 \text{ км/с}$), на наблюдениях атомарного водорода, полученные из анализа фона мягких X-лучей, колеблется в пределах $\sim 0.2 \div 1.5 m_{\odot}/\text{год}$ [48, 112, 130, 204].

Лучшая трехкомпонентная модель химической эволюции Галактики Пилугина и Эдмундсона [149–151] предсказывает для современного темпа притока газа из экстрагало в диск значение $\sim 1 m_{\odot} \text{ кпк}^{-2}/\text{год}$ для солнечной окрестности, или значение $\sim 0.7 m_{\odot}/\text{год}$ для всего диска (если его радиус равен 15 кпк, а темп притока газа равномерен по галактическому диску), что согласуется со значениями других авторов и наблюдательными данными. Прантзос и Ауберт [153, 154] получили несколько большую оценку для современного темпа звездообразования в солнечной окрестности $2 \div 5 m_{\odot} \text{ кпк}^{-2}/\text{год}$ для экспоненциально спадающей скорости притока, с временной шкалой $\tau \sim 3$ млрд. лет. Ван ден Хоэк и де Йонг [204], используя современный темп звездообразования Допита [64] — $\sim 3.5 m_{\odot}/\text{год}$, получили, что $\sim 30 \div 40\%$ звезд могли образоваться за счет аккреции газа на диск Галактики.

Наблюдательное подтверждение вызванного аккрецией звездообразования в солнечной окрестности было представлено в 90-х годах для облачного комплекса Ориона [46, 68, 112, 126]. На основании этих наблюдений можно предположить, что большинство активных звездообразующих областей в солнечной окрестности частично образовались из облаков, принадлежащих гало Галактики. Так, наблюдения и модель Мартина и др. [117] предполагают связь обнаруженной структуры в Большом Псе с толстым галактическим диском. Действительно, орбитальный эксцентриситет модели равен значению ~ 0.5 , типичному для звезд толстого галактического диска с металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.2$ [53]. Кроме того, вертикальная экспоненциальная шкала высот осколка равна 0.73 ± 0.05 кпк, что очень близко к соответствующим значениям для толстого диска равного 0.8 кпк и 0.76 ± 0.05 кпк, определенных, соответственно, Рейлом и Робин [160] и Ойя и др. [140]. Поэтому вполне возможно, что Мартин и др. [117] обнаружили один из галактических «кирпичиков», из которых строится толстый диск. Имеются аргументы для предположения, что толстый диск непрерывно растет, даже сейчас, благодаря аккреции карликовых галактик на компланарных орбитах. Для полного заселения

толстого диска нужно лишь несколько событий аккреции карликовых галактик (с массой $\sim 10^9 m_\odot$) с размерами подобно той, что наблюдается в Большом Псе.

Шаровые скопления с дископодобной кинематикой таким же образом могут попасть в их теперешние положения. Наблюдения и моделирование Мартина и др. [117] подтверждают анализ Абади и др. [27], согласно которому большая часть звезд толстого диска рождены в аккрецированных фрагментах галактик. Толстые диски могут быть общим компонентом гигантских спиральных галактик, поскольку аккреция является общей характеристикой образования галактик. Кроме того, на краю диска, где динамические времена самые длинные, их структура должна быть сложной «мешаниной», откуда осколок от самой свежей аккреции выталкивается на апоцентр. Такие «смешанные структуры» уже удалось обнаружить в галактике Андромеды [75, 98].

Общая масса диска (газ + звезды) равна $\sim (4-5) \cdot 10^{10} m_\odot$ (без учета звездных остатков: белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр, которые могут добавить по массе еще 10–20% вещества) [153]. Для массы Галактики в пределах сферы с радиусом ≈ 15 кпк наиболее распространенная оценка $1.5 \cdot 10^{11} m_\odot$ [25].

Солнце и солнечная окрестность. Оценки расстояния Солнца от центра Галактики, R_0 , полученные с середины 70-х годов прошлого века, охватывают интервал от 6 до 10.5 кпк (см. обзоры Керра и Линден-Белла [114], Фиста [74], И.Н.Рейда [155] и М.Дж.Рейда [156, 157]). В работах 90-х годов и более поздних разброс уменьшился до интервала 6.5–9 кпк [19, 156, 157]. Кинематическая оценка, выполненная по анализу движения подсистем нейтрального и ионизированного водорода, молекулярных облаков Галактики Никифоровым и Петровской [20] и Никифоровым [17–19] сводится к значению $R_0 = 8.2 \pm 0.7$ кпк. Это соответствует галактическому году $200 \div 225$ млн. лет для орбитальной скорости Солнца $250 \div 225$ км/с.

Обзоры солнечной окрестности не обнаружили никаких следов существенного роста функции звездных масс в сторону меньших масс [107]. Функция светимости самых слабых звезд главной последовательности оказывается гладкой, и из экстраполяции соответствующей функции масс до нулевой массы не следует, что в субзвездах, заключена большая масса (согласно Бесселю и Стрингфеллоу [36]).

Функция светимости белых карликов согласуется с темпом их охлаждения¹¹ [215, 221]. Идентифицированное население белых карликов вносит заметную долю, но не основную — 10% от звездной массы солнечного окружения [107] и согласуется со статистическими данными ближайших звезд автора [7, 8].

В тридцатипарсековом солнечном окружении распределение металличностей изучали Захожай и Шапаренко [12, 13]. На основе металличностей 502 близких FGK-карликов, определенных по UVB-фотометрии [12], была построена функция металличностей звезд, по которой обнаружен дефицит звезд с металличностями вблизи значений -0.2 и -0.5 . 89% звезд выборки имеют металличность $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.4 \pm 0.1$, а максимумы проявились для значений $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0, -0.3, -0.6$. Металличности 56 звезд выборки попали в типичный для населения толстого диска интервал $-1.2 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.5$. Звезд с металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.3$ здесь не оказалось.

Балдж и Центр Галактики. Балджи являются сфероидальным компонентом спиральных галактик [133]. В 90-е годы в Окне Бааде были обнаружены молодые звезды [95], свидетели того, что история звездообразования отличается от той, что приписывается эллиптическим галактикам¹², то есть, сильной концентрации в ранних стадиях эволюции со спадом после первого миллиарда лет. Химические распространенности в галактическом балдже изучались МакВиллиамом и Ричи [123], Минити и др. [129], Ибата и Гилмором [99, 100], Хоудашелтом [96], Фрогелем и др., [83], в результате чего оказалось, что максимум относительной распространенности железа приходится на $[\text{Fe}/\text{H}] \approx 0.5$. Близкий результат к этому значению получили Бейсел и Пелетьер [32] и де Джонг [60, 61] для средней субсолнечной металличности внешних спиралей — $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = 0.57 \pm 0.07$, основанный на предположении, что все балджи галактик похожи друг на друга по цвету и металличности.

Кинематические наблюдения указывают, что балджи вращаются намного быстрее, чем яркие эллиптические галактики, откуда делается предположение, что балджи, в отличие и эллиптических галактик поддерживаются вращением [133]. OH/IR звезды [114] и обычные M гиганты [37], содержащиеся в области 5–200 пк вращаются по-разному. OH/IR звезды имеют более низкую дисперсию скорости $\sigma_{\text{OH/IR}} = 50 - 100$ км/сек, против $\sigma_M > 100$ км/сек у M гигантов, и очень высокую скорость

¹¹Время полного охлаждения белых карликов ожидается в пределах 6–14 млрд. лет.

¹²В прошлом, модели для их образования и эволюции страдали сильной параллелью с эллиптическими галактиками, поскольку несколько исследований звезд галактического балджа [161, 213] утверждали, что их фотометрические характеристики аналогичны галактикам ранних типов, и в балджах существуют только старые сверхбогатые металлом звездные населения.

вращения $V_{\text{rot Oh/IR}} > 100$ км/сек на расстоянии 100 пк от центра Галактики, против почти ничтожного вращения М гигантов. Эти наблюдательные данные Молла и др. [133] объясняют принадлежностью ОН/IR звезд к населению «ядерного» балджа, а М гигантов — к другому звездному населению.

В начале нового столетия получены интересные наблюдательные данные о Центральном парсеке [143], где находится плотное и яркое звездное скопление, компоненты нейтрального и горячего газа (ионизированного) и пыли в газовых «мини-спиральных» потоках. В скоплении в ИК-диапазоне отождествлено не менее 3200 звезд, среди которых преобладают яркие голубые сверхгиганты, обнаружены красные сверхгиганты и звезды с асимптотической ветви гигантов, звезды главной последовательности (начиная с голубых до А5/F5, массы которых больше $\sim 2m_{\odot}$). На основе позиционных измерений ~ 1000 звезд, находящиеся в центральной зоне $10'' \times 10''$ (0.39×0.39 пк $\equiv 80 \cdot 10^3 \times 80 \cdot 10^3$ а.е.) для шести звезд удалось вычислить эллиптические орбиты, общий фокус которых с большой вероятностью совпадает¹³ с компактным (диаметр около 1.2 а.е.) радиоисточником Sgr A*. Периастры обнаруженных ближайших к центру Галактики звезд S2 и S14, оказались, соответственно примерно равными 120 а.е. и 80 а.е. Масса центра Галактики, вычисленная по наблюдаемым данным орбит шести вращающихся звезд, оказалась равной $3 \cdot 10^6 m_{\odot}$. Анализ показал, что вероятнее всего в центре нашей Галактики находится черная дыра с радиусом Шварцшильда 0.06 а.е.

3. О ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОДСИСТЕМ ГАЛАКТИКИ

Рассмотрим имеющиеся данные, полученные из различных источников и различными методами о возрастах Экстрагало (корона). Учитывая расстояние до самой далекой галактики-спутника Leo I [1, 22], следует принять, что диаметр семейства Галактики не менее чем 500 кпк. Расстояние до галактики Туманность Андромеды — 690 кпк, а до самой массивной галактики периферии Местной группы, IC 10, — 1250 кпк [1]. С учетом пространственного положения галактик М 31 и IC 10, расстояние между ними 630 кпк. Следовательно, если бы галактики начали формироваться в эпоху рекомбинации атомов водорода, когда возрасту Вселенной, соответствует красное смещение $z \approx 100$, масштабный фактор был в 100 раз меньше нынешнего, протогалактики должны были «соприкасаться краями» [4].

Масса Местной группы галактик близка к массе мелкомасштабных возмущений, ожидаемых в плазме ранней Вселенной с красным смещением $z > 100$ и выживших к моменту рекомбинации атомов водорода¹⁴. Джинсовская масса, соответствующая $z \approx 100$, равна $\sim 10^6 m_{\odot}$, что в миллион раз меньше массы протогалактики необходимой для формирования Галактики. Следовательно, сразу после рекомбинации атомов водорода не могло возникнуть «целостных» протогалактик, из которых образовались массивные галактики Местной группы. С другой стороны, спустя ≈ 14 млрд. лет¹⁵ семейства Галактики и Туманности Андромеды наблюдаются, как относительно обособленные области в пределах диаметра Местной группы ~ 2 Мпк [222]. Такая картина не противоречит современному состоянию галактической космогонии, согласно которой галактики образуются иерархическим слиянием карликовых галактик, играющих важную роль в образовании наблюдаемых структур [211, 212].

Серл и Зин [175] получили оценку для времени формирования внешнего гало — более 1 млрд. лет, как результат центрального коллапса и слияния больших фрагментов, согласующуюся с современными оценками, включающими аккрецию галактик-спутников на Млечный Путь [119]. Если начальная вспышка звездообразования проходила в рамках сценария горячей Галактики, предложенного Берманом и Суховым [34], следующее звездообразование возможно только через несколько миллиардов лет.

¹³Радио и X-наблюдения продемонстрировали наличие горячего и релятивистского газа размером в 10 радиусов Шварцшильда (т.е. 0.6 а.е.) в центре этой концентрированной массы. Собственное движение Sgr A* в системе центра Галактики, согласно наблюдениям, должно быть меньше 20 км/с. Тогда сравнение этого предела со скоростями звезд, вращающимися вокруг Sgr A*, $> 10^3$ км/с предполагает, 98% массы, заключенной внутри орбиты звезды, вращающейся вокруг центра Галактики S2, связаны с радиоисточником, расположенным в 1.2 а.е., что дает нижний предел для плотности $5 \cdot 10^{21} m_{\odot}/\text{пк}^3$ [143]. Это подтверждается и отсутствием ИК переменности у обнаруженных 6 звезд, наличие которой свидетельствовало бы о приливном взаимодействии с центром Галактики.

¹⁴Следствием мелкомасштабных адиабатических возмущений расширяющейся и остывающей ранней Вселенной является режим, когда становятся существенными диссипативные процессы, ведущие к затуханию движения вещества. Поэтому мелкомасштабные возмущения к моменту рекомбинации затухают, а «выживают» только крупномасштабные, охватывающие массу $\sim (10^{13} \div 10^{14}) m_{\odot}$ [4, 6].

¹⁵Чабойер и др. [49] представили аргументы в пользу сильного разброса в возрастах, 5 млрд. лет, среди массива шаровых скоплений, наблюдаемых во внешнем гало галактического диска. Из этого следует, что независимо от погрешности, вводимой калибровкой абсолютного возраста шаровых скоплений, образование звезд во внешней Галактике началось, по крайней мере, 14 млрд. лет назад [203]. Этот результат согласуется с определениями последних лет, проведенными по шаровым скоплениям для возраста Галактики — 14 ± 3 млрд. лет [49, 94, 169, 178, 210].

Шаровые скопления и галактики-спутники, наблюдающиеся в короне Галактики, и галактики-спутники, наблюдающиеся на периферии системы Млечного Пути, по-видимому, самые старые звездные системы. Наблюдаемый факт, что с удалением от центра Галактики их масса и размеры уменьшаются (см. анализ автора [11]), качественно находится в соответствии с влиянием звездного фона Галактики на потерю углового момента шаровых скоплений и галактик-спутников [23, 24, 197]. Время слияния Млечного Пути с окружающими его шаровыми скоплениями и галактиками-спутниками пропорционально квадрату расстояния между ними и обратно пропорционально их массе [23, 24]. Следовательно, наиболее массивные и близкие спутники Галактики должны были уже «выпасть» на нее за хаббловское время, а наиболее старые и удаленные (их массы $\leq 2 \cdot 10^7 m_\odot$ — наиболее массивной эллиптической галактики в Печи [22]) — остаться на периферии системы Млечного Пути.

Элементный состав вещества Вселенной, после рекомбинации атомов водорода, определяется процессами, прошедшими в эпоху первичного нуклеосинтеза. Оказалось, что металличность звезд населения короны Галактики, больше металличности вещества, предсказываемой космологией за счет первичного нуклеосинтеза. Обнаруженное несоответствие в наблюдаемой и предсказываемой теорией металличностях было предложено снять, предположив, что на ранних стадиях эволюции Галактики существовало население звезд III типа [115, 212] с реликтовым элементным составом. В процессе эволюции в недрах этих «первичных» звезд образовалось необходимое доленое содержание химических элементов с атомным весом больше гелия, и из них уже образовались звезды, населяющие наблюдаемые звезды и скопления гало и короны.

Объяснением того, что не наблюдаются скопления звезд с очень низкой металличностью, где должны быть звезды населения III типа (поскольку звезды образуются, как правило, в скоплениях), может быть следующим: а) минимальная масса звезд населения III типа была такой, что время горения водорода на стадии главной последовательности меньше/равно хаббловскому времени; б) в экстрагало могут быть скопления, состоящие полностью из звездных остатков в том случае, если масса самых первых звезд не была настолько велика, что на завершающих стадиях эволюции, после сбрасывания оболочки (в виде планетарной туманности, или стадии сверхновой), не оставляла после себя звездного остатка, как это происходит в настоящую эпоху, после взрыва сверхновых I типа для звезд с массами более $100m_\odot$ (см., например, работа Захожай [10]).

Гало. Расчеты химических моделей эволюции Галактики с использованием различных зависимостей «возраст–металличность» дают оценки для формирования внутреннего гало — 0.5–1 млрд. лет и гало в целом (внутреннего + внешнего) — $\tau_h \sim 1.5–2.0$ млрд. лет [52, 76, 119, 120, 147] в период между ~ 16 и ~ 13 млрд. лет назад. Эти значения находятся в соответствии с металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1$ [9, 80, 106, 162, 180, 181], возрастом $\sim 14–15$ млрд. лет шаровых скоплений гало [50, 170, 203], и согласуются с наблюдениями Большого Магелланова Облака, где после первого эпизода звездообразования в течение нескольких миллиардов лет звезды не образовывались [35, 73, 82].

Полученный предел для возраста первых звезд, образовавшихся в Галактике и результаты обзоров VIRMOS (являющиеся полными до $I = 23^m$)¹⁶, на уровне достоверности 95% дали оценку доленого содержания реликтовых белых карликов (с массой $(0.5–0.8)m_\odot$), — $\geq 5\%$. Это послужило основанием Рейлу [159] снизить возраст гало до 13.5 млрд. лет.

Согласно построенной трехкомпонентной модели Пилюгина и Эдмундсона [149–151], для химической эволюции кольцевой области Галактики, ограниченной галактоцентрическими радиусами 8 и 9 кпк (солнечной окрестности), в дальнейшем (за время существования Галактики) гало не изменилось, а его масса оставалась приблизительно постоянной.

Диск. Вайс и Гилмор в 80-х годах получили возраст диска ~ 15 млрд. лет, согласовав возраст отдельных звезд толстого диска с результатами для металличности и точки поворота на диаграмме «цвет (B–V) — светимость» [219]. Этот результат противоречил возрасту толстого диска, полученного из анализа функции светимости белых карликов [214]. Объяснение начали искать в неоднородности диска, предположив, что результаты Вайса и Гилмора [219] и Вингета [214] относятся к разным периодам звездообразования: один — к раннему диску (который теперь толстый), другой — к основному массивному диску, между которыми должен быть перерыв в звездообразовании. Однако, согласно данным Эдвардсона и др. [66], возрастной пробел отсутствовал в металличностях различных отношений химических элементов. Вайс объяснил наблюдаемый разброс в зависимости «возраст — металличность» неравномерностью звездообразования и, как следствие, самообогащения внутри

¹⁶На телескопе CFH проводились наблюдения микролинзирования по программе MACHO в пределах 0.16 кв. град. в высокой галактической широте и в пределах 1.6 кв. град. в средней широте.

комплексов гигантских молекулярных облаков диска [217]. Позже Вайс и Гилмор [220] пришли к выводу, о маловероятности истощения газа гало вблизи локальной части межзвездной среды диска. Этот результат Ойя и др. [140] и Рейд и Майевски [158] интерпретировали тем, что звездообразование в солнечной окрестности началось внезапно (без какого-либо вклада от газа гало, как это часто предполагается), и повлекло образование диска приблизительно 10 млрд. лет назад [140]. К сожалению, пока нет данных, чтобы можно было определить, существует ли действительно химическое различие в отношениях между элементами звезд гало и толстого диска, имеющих одинаковую металличность [146].

Согласно Ван ден Хоэку [203], самые старые из наблюдаемых в диске карликов требуют возраста диска, по крайней мере $\sim 10-12$ млрд. лет [66, 67, 198, 199]. Это согласуется со значением 10 ± 1 млрд. лет, полученным по рассеянным скоплениям диска [44, 124, 125]. Примерно такое же значение — 11–13 млрд. лет, приводится для возраста звезд диска в солнечной окрестности [47, 203].

В середине 90-х годов Чиппиани и др. [52] было предложено объяснение образования толстого и тонкого диска за счет двух основных эпизодов аккреции. Согласно Греттона и др. [88], предположение для предела в звездообразовании естественно приводит к провалу в звездообразовании в конце фаз гало и толстого диска. Их модель «с двумя притоками» [52] предсказывает временную шкалу 1 млрд. лет для образования гало и диска, и 8 млрд. лет для образования тонкого диска в солнечной окрестности. Провал в зависимости $[\text{Fe}/\text{O}]$ от $[\text{O}/\text{H}]$ в районе $[\text{O}/\text{H}] = 0.50$, соответствующего $[\text{Fe}/\text{H}] \sim 0.1$ [89] интерпретируется Маттеуччи [119] задержкой звездообразования (не превышающей 1 млрд. лет) между концом фазы толстого диска и началом образования тонкого диска.

На основании данных о локальной поверхностной плотности и о дисперсиях скорости населения толстого диска, Ойя и др. [140] не обнаружили ни радиального, ни вертикального градиента в его скорости вращения. Это согласуется с выводами Эггена и др. [69], что обсуждаемое слияние происходило на довольно раннем этапе жизни Галактики, когда образовалось 5–10% массы диска [140] и, что образование толстого диска не было плавным переходом между гало и образованием тонкого диска во время коллапса Галактики. Для почти постоянного темпа звездообразования получается, что слияние произошло через 2–4 млрд. лет после образования дисковой компоненты (именно этот прадиск преобразовался в толстый диск) [93].

Есть основания считать, что диск в целом образовался изнутри наружу, а локальный диск выстраивался на временной шкале $\sim 6-7$ млрд. лет [28, 51, 52, 87, 152].

Согласование функция светимости белых карликов, находящихся в солнечной окрестности, с темпом их охлаждения позволило Ноху и Скало [136], Пилюгину и Эдмундсону [149] сделать вывод, что отношение современного темпа звездообразования (усредненного за последний миллиард лет) к темпу звездообразования, усредненному по времени жизни галактического диска, равен 0.45, что согласуется с наблюдательными данными. Фактически та же наблюдательная выборка белых карликов анализировалась Вудом [215], но с другим темпом их охлаждения. Вуд считает, что темп звездообразования на протяжении всей истории Галактики оставался постоянным в пределах порядка величины.

Балдж. Основные сценарии образования спиральных галактик накладывают ограничения на образование балджей [133]: в модели диссипативного коллапса Эггена и др. [69] эволюция движется вовнутрь и металличность, возраст и кинематика коррелируют. Зинн [223] предложил сценарий слияния с гало, за счет аккреции малых фрагментов, что согласуется с отсутствием градиента металличности в гало. Вайс [218] показал, что неустойчивости в звездных дисках не способны образовывать балджи, и что распределение металличности в гало Млечного Пути не согласуется с моделью балджа, образованным путем аккреции спутниковых галактик или скоплений.

Сценарий Эггена и др. [69], согласно которому балдж образован диссипативным коллапсом, получил подтверждение в наблюдениях Минити [127, 128]. В этом случае балдж ожидается моложе, чем гало, а металличность предполагает сильный радиальный градиент внутри 1.5 кпк [83], что согласуется с исследованиями Тердрапа и др. [188, 189] и Минити и др. [129]. В процессе диссипативного коллапса происходит быстрое оседание вещества из гало или протогалактики в центр сфероида, где мал угловой момент [70, 201, 202]. Это следствие большего возраста, чем у звездного диска [133]. Свидетельства совместного происхождения из одного коллапса балджа и гало обнаружил также Зинн [224]: признаки диссипации для скоплений, находящихся внутри старого гало ($R \leq 6$ кпк) и плавный переход от гало к шаровым скоплениям диска.

Модель «двойного притока» [52], по-видимому, дает самое лучшее согласие с наблюдениями гало и диска. Модель, построенная для балджа с помощью такого подхода [121], предполагает значительно более активную (в 10 раз большую) скорость образования звезд (за счет быстрого накопления газа), чем в солнечной окрестности и временную шкалу для образования балджа 0.5 млрд. лет

в отличие от 8 млрд. лет в солнечной окрестности. Балдж должен образовываться одновременно с внутренним гало на аналогичной временной шкале [119]. Согласно этой модели, звезды балджа должны демонстрировать избыток распространенности α элементов для большей части диапазона [Fe/H], что, похоже, подтверждается наблюдениями [30, 123]. Маттеуччи объясняет это следствием задержки между сверхновыми Ia и II типов, связанной с очень быстрой эволюцией в балдже по сравнению с солнечной окрестностью [119].

4. ВЫВОДЫ

Накопленный наблюдательный материал и опыт построения моделей эволюции Галактики, прежде всего, методами динамической и химической эволюции, основные моменты которых анализировались и были представлены в предыдущей обзорной работе автора [11] и в настоящей статье, позволяют выстроить следующую картину событий, которые сопровождали общую эволюцию Галактики.

Самые первые космические тела, образовавшиеся во Вселенной, вероятно, были представителями звезд населения III типа [115, 212], с предельно-малым содержанием тяжелых химических элементов. Весьма вероятно, что они входили в состав звездных скоплений. Время релаксации самых малых звездных скоплений с числом звезд: $\sim 10^3$ — несколько миллиардов лет, $\sim 10^4 \div 10^6$ — сравнимо с современным возрастом Галактики [4, 6]; в то время как темп эволюции массивных звезд — несколько миллионов лет [10]. Таким образом, отсутствие шаровых скоплений, в составе которых нет звезд III-го типа населения, следует интерпретировать, как то, что в населении экстрагало вероятно находятся шаровые скопления, полностью состоящие из звездных остатков, существенно остывших за хаббловское время и, поэтому, ненаблюдаемые в видимом диапазоне волн.

В соответствии с формулой Джинса, не сложно показать, что для образования протогалактик необходима плотность среды $\sim 10^{-24} \div 10^{-25}$ г/см³. Такая плотность, по-видимому, могла быть в ранней Местной группе, после реионизации ее газа¹⁷, красное смещение для которого прогнозируется в пределах $z = 2 \pm 6$. Дальнейший радиальный коллапс, сопровождавшийся, вероятно, слиянием больших первичных фрагментов длился, > 1 млрд. лет [118, 119, 175].

Если дальнейшая эволюция Галактики пошла по сценарию горячей Галактики [34], следующее звездообразование возможно было только через несколько миллиардов лет и связано с формированием внутреннего гало, которое продолжалось около 0.5–1 млрд. лет [52, 76, 119, 120, 147]. Этот период жизни Галактики сопровождался существенным притоком вещества в гало [52]. Вероятнее всего это была аккреция другой галактики на нашу, оставившая «след» в гало в виде наличия населения шаровых скоплений, существенно отличающееся от других населений [2]. Процесс слияния сопровождался диссипативным коллапсом [69], в результате которого происходило быстрое оседание вещества из гало в центр сфероида, где мал угловой момент [70, 201, 202] и к нарастанию скорости вращения газа (в силу закона сохранения углового момента), в плоскости вращения [26]. Рост центробежной силы привел к остановке сжатия газа в плоскости вращения. В результате оседания вещества на сфероид, параллельно формировались: 1) внутреннее гало и балдж, за время 0.5 млрд. лет [119] и 2) толстый диск, за время ~ 1 млрд. лет [52]. Между концом фазы толстого диска и началом образования тонкого диска ожидается задержка звездообразования, не превышающая 1 млрд. лет [119].

Для почти постоянного темпа звездообразования второе существенное слияние вещества с нашей Галактикой произошло через 2–4 млрд. лет после образования дисковой компоненты (именно этот прадиск преобразовался также в толстый диск) [93], а последующие 8 млрд. лет пошли на образования тонкого диска [52].

Таким образом, весь процесс эволюции Галактики занял ≈ 14 млрд. лет, удовлетворительно согласуясь с современными оценками возраста Вселенной [49, 94, 169, 178, 203, 210].

Можно ли считать описанный принципиальный сценарий эволюции Галактики окончательным, убедительным и непротиворечивым? Не совсем. Выше отмечалось, что имеются расхождения в последовательности возникновения толстого и тонкого диска и дальнейшей их эволюции. Так, наряду с изложенными выше обоснованиями, приводятся доказательства того, что диск мог эволюционировать «изнутри наружу»: сначала образовался тонкий диск, а затем уже толстый. Ответ можно поискать, предположив, что имеются в Галактике одновременно населения старого и молодого толстого диска. Для этого необходимо найти убедительные аргументы деления толстого диска на две составляющие по кинематическим, химическим и возрастным признакам. Это сделать не так просто,

¹⁷Реионизация газа в пределах Местной группы могла наступить вследствие вспышек первого поколения сверхновых звезд населения III.

потому, что в процесс эволюции Галактики постоянно «вмешивались» сливающиеся с ней другие галактики-спутники с похожими возрастными и химическими характеристиками.

Необходимо также искать и другие подходы к изучению эволюции Галактики и тесты, определяющие однозначность следования ключевых эволюционных процессов. Например, остается еще до конца не разработанным статистический анализ эволюционных событий. Можно попытаться установить «ощутимые различия» по статистическим характеристикам и свойствам звезд и систем, входящих в определенные населения нашей и слившихся с ней других карликовых галактик.

1. Аллен К.У. Астрофизические величины / Пер. с англ., 2-е изд., переработ. и доп. — М.: Мир, 1977. — 448 с.
2. Боркова Т.В., Марсаков В.А. // Астрон. журн. — 2000. — **77**, № 10. — С.750.
3. Ваккер Б., Рихтер Ф. // В мире науки. — 2004. — Апрель. — С.22.
4. Грищук Л.П., Зельдович Я.Б. Космология / В кн.: Физика космоса. — М.: Сов.энциклопедия, 1986. — С.90.
5. Гуревич Л.Э., Левин Б.Ю. // Докл. АН СССР. — 1950. — **70**, №5. — С.781.
6. Гуревич Л.Э., Чернин А.Д. Введение в космогонию. (Происхождение крупномасштабной структуры Вселенной). — М.: Наука, 1978. — 384 с.
7. Захожай В.А. // Дис. канд.физ.-мат.наук. — Л.: ГАО АН СССР. — 1987. — 206 с.
8. Захожай В.А. // Астрономо-геодезические исследования: Близкие двойные и кратные звезды. — Свердловск: УрГУ. — 1990. — с. 44.
9. Захожай В.А. // Кинем. и физ. неб. тел. — 2000. — **16**, №2. — С.153.
10. Захожай В.А. // Вісник Астрон. школи. — 2002. — **3**, № 2. — С.81.
11. Захожай В.А. // Вісник Астрон. школи. — 2009. — **6**, № 1. — С.6–15.
12. Захожай В.А., Шапаренко Э.Ф. // Кинем. и физ. неб. тел. — 1996. — **12**, №2. — С. 20.
13. Захожай В.А., Шапаренко Э.Ф. // Кинем. и физ. неб. тел. — 1997. — **13**, №6. — С. 63.
14. Марочник Л.С. // Astrophys. Space Sci. — 1983. — **89**. — P.61.
15. Марочник Л.С., Мухин Л.М. // Препринт ИКИ СССР. — 1983, Пр-761.
16. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. — М.: Наука, 1984. — 392 с.
17. Никифоров И.И. // Астрофизика. — 1999. — **42**. Вып. 3. — С.399.
18. Никифоров И.И. // Астрон. журн. — 1999. — **76**. № 6. — С.403.
19. Никифоров И.И. // Автореферат. Дис. канд.физ.-мат.наук. — С-ПбГУ: ГАО РАН, 2003. — 21 с.
20. Никифоров И.И., Петровская И.В. // Астрон. журн. — 1994. — **71**, № 5. — С.725.
21. Псковский Ю.П. Соседи нашей Галактики. — М.: Знание, 1983. — 64 с.
22. Псковский Ю.П. Галактики / В кн.: Физика космоса. — М.: Сов.энциклопедия, 1986. — С.76.
23. Сурдин В.Г. Астрономо-геодезические исследования: Динамические и физические характеристики небесных тел. — Свердловск: УрГУ, 1988. — с.36.
24. Сурдин В.Г., Чариков А.В. // Астрон. журн. — 1977. — **54**, вып.1. — С.24.
25. Сучков А.А. Галактика / В кн.: Физика космоса. — М.: Сов.энциклопедия, 1986. — С.62.
26. Сучков А.А. Галактики знакомые и загадочные. — М.: Наука, 1978. — 192 с.
27. Abadi M., Navarro J., Steinmetz M. & Eke V. // astro-ph/0212282.
28. Alibes A., Labay J., Canal R. // Astron. Astrophys. — 2001. — **370**. — P.1103.
29. Arimoto N., Yoshii Y., Takahara F. // Astron. Astrophys. — 1992. — **253**. — P.21.
30. Barbuy B. // Astrophys. Space Sci. — 1999. — **265**. — P.319.
31. Barry D.C. // Astrophys. J. — 1988. — **334**. — P.436.
32. Bacells M., Peletier R.F. // Astron. J. — 1994. — **107**. — P.135.
33. Beers T.M., Sommer-Larsen J. // Astrophys. J. Suppl. Ser. — 1995. — **96**. — P.175.
34. Berman B.C., Suchov A.A. // Astrophys. Space Sci. — 1991. — **184**. — P.169.
35. Bertelli G., Mateo M., Chiosi C., Bressan A. // Astrophys. J. — 1992. — **388**. — P.400.
36. Bessel M.S., Stringfellow G.S. // Ann. Rev. Astron. Astrophys. — 1993. — **31**. — P.433.
37. Blum R.D. // Astrophys. J. — 1995. — **444**. — L89.
38. Boissier S., Prantzos N. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2000. — **313**. — P.338.
39. Bruzual A., Charlot S. // Astrophys. J. — 1993. — **405**. — P.538.
40. Carigi L. // Astrophys. J. — 1994. — **424**. — P.181.
41. Carigi L. // Rev. Mexicana Astr. Astrofis. — 1996. — **32**. — P.179.

42. Carlbergh R.G., Dawson P.C., Hsu T., et al. // *Astrophys. J.* — 1985. — **294**. — P. 674.
43. Carney B.W., Latham D.W., Laird J.B. // *Astron. J.* — 1990. — **99**. — P. 572.
44. Carraro G., Chiosi C. // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **287**. — P. 761.
45. Collins J.A., Shull J.M. & Giroux M. // *Astrophys. J.* — 2003. — **585**. — P. 336.
46. Comeron F. Torra J. // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **281**. — P. 35.
47. Cowan J.J., Thielemann F.-K., Truran J.W. // *Ann. Rev. Astron. Astroph.* — 1991. — **29**. — P. 447.
48. Cox D.P., Smith B.W. // *Astrophys. J.* — 1974. — 189. — L105.
49. Chaboyer B., Demarque P., Sarajedini A. // *Astrophys. J.* — 1996. — **459**. — P. 558.
50. Chaboyer B., Sarajedini A., Demarque P. // *Astrophys. J.* — 1992. — **394**. — P. 515.
51. Chang R.X., Hou J.L., Shu C.C., Fu C.Q. // *Astron. Astrophys.* — 1999. — **350**. — P. 38.
52. Chiappini C., Matteucci F. & Gratton R. // *Astrophys. J.* — 1997. — **477**. — P. 765.
53. Chiba M., Beers T. // *Astron. J.* — 2000. — **119**. — P. 2843.
54. Clarke C. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1989. — **238**. — P. 283.
55. Clayton D.D. // *Astrophys. J.* — 1987. — **315**. — P. 451.
56. Clayton D.D. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1988. — **234**. — P. 1
57. Dame T.M. / In “Back to the Galaxy”, eds. S. Holt and F. Verter (AIP). — 1993. — P. 267.
58. D’Antona F., Matteucci F. // *Astron. Astrophys.* — 1991. — **248**. — P. 62.
59. De Boer K.S., Savage B.D. // *Astron. Astrophys.* — 1984. — **136**. — L7.
60. De Jong F. // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* — 1996. — **118**. — P. 557.
61. De Jong F. // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **313**. — P. 45.
62. De Vaucouleurs G. // *IAU Symp. No.84.* — 1979. — P. 203.
63. Diplas A., Savage B. // *Astrophys. J.* — 1991. — **377**. — P. 126.
64. Dopita M.A. // In Faber S.M. (ed.). *Nearly Normal Galaxies from the Planck Time to Present*, Springer, New York. — 1987. — P. 144.
65. Dwek E. // *Astrophys. J.* — 1998. — **501**. — P. 643.
66. Edvardsson B., et al. // *Astron. Astrophys.* — 1993. — **275**. — P. 101.
67. Edvardsson B., et al. // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* — 1993. — **102**. — P. 603.
68. Edvardsson B., Petterson B., Kharrazi M., Westerlund B. // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **293**. — P. 75.
69. Eggen O.J., Lynden-Bell D. & Sandage A.R. // *Astrophys. J.* — 1962. — **136**. — P. 748.
70. Elmegreen D.M., Elmegreen B.G. // *Astrophys. J.* — 1987. — **314**. — P. 3.
71. Einasto J., Kaasik A., Saar E. // *Nature*. — 1974. — **250**. — P. 309.
72. Einasto J. // *IAU Symp. No.84.* — 1979 — P. 451.
73. Elson R.A.W., Forbes D.A., Gilmore G.F. // *Publ. Astr. Soc. Pac.* — 1994. — **106**. — P. 632.
74. Feast M.W. // *The Galaxy. Proc. of f NATO Advanced Study Institute, held at Cambridge, UK, 4–15 August 1986 / Eds. Gilmore G., Carswell B. Dordrecht: Reidel D.* — 1987. — P. 1.
75. Ferguson A., et al. // *Astron. J.* — 2002. — **124**. — P. 1452.
76. Ferrini F., Matteucci F., Pardi C., Penco U. // *Astrophys. J.* — 1992. — **387**. — P. 138.
77. Ferrini F., Molla M., Pardi C., Diaz A.I. // *Astrophys. J.* — 1994. — **427**. — P. 745.
78. Ferrini F., Palla F., Penco U. // *Astron. Astrophys.* — 1990. — **231**. — P. 391.
79. Firmani C., Hernandez X., Tutukov A. // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **403**. — P. 414.
80. Folgheraiter E.L., Penny A.J., Griffiths W.K. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1993. — **264**. — P. 991.
81. Freeman K.C. // *Dynamics of Disc Galaxies*, ed. B.Sundelius, Goteborgs University, Goteborg. — 1991. — P. 15.
82. Frogel J.A. // *Publ. Astr. Soc. Pac.* — 1984. — **96**. — P. 856.
83. Frogel J.A., Tiede G.P., Kuchinski L.E. // *Astron. J.* — 1999. — **117**. — P. 2296.
84. Galli D., Palla F., Ferrini F., Penco U. // *Astrophys. J.* — 1995. — **443**. — P. 536.
85. Gilmore G. // In “The Milky Way as a Galaxy”. Ed. R.Buser and I.King (Geneva Observatory). — 1989. — P. 36.
86. Giovagnoli A., Tosi M. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **273**. — P. 499.
87. Goswami A., Prantzos N. // *Astron. Astrophys.* — 2000. — **359**. — P. 191.
88. Gratton R., Carretta E., Matteucci F., Sneden C. // *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* — 1996. — **92**. — P. 307.
89. Gratton R.G., Carretta E., Matteucci F., Sneden C. // *Astron. Astrophys.* — 2000, — **358**. — P. 671.
90. Grevesse N., Sauval A.J. // In: *Solar composition and its evolution — from core to corona*, Eds. Fronlich G.,

- Huber M.C.E., Solanki S.K., von Steiger R. Kluwer, Space Sciences Series of ISSI. — 1998. — 5. — P. 161.
91. Guiderdoni B, Rocca-Volmerange B. // Astron. Astrophys. — 1987. — **186**. — P. 1.
 92. Harris W.E. // Astron. J. — 1996. — **112**. — P. 1487.
 93. Haywood M., Robin A.C., Creze M. // Astron. Astrophys. — 1997. — **320**. — P. 428.
 94. Hesser J.E. // Astron. Soc. Pac. Conf. Ser. — 1997. — **48**. — P. 1.
 95. Holtzmann J.A., et al. // Astron. J. — 1993. — **196**. — P. 1826.
 96. Houdashelt M. // Publ. Astr. Soc. Pac. — 1996. — **108**. — P. 828.
 97. Ibata R., et al. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 2003. — **340**. — P. 21.
 98. Ibata R., et al. // Astrophys. J. — 2001. — **551**. — P. 294.
 99. Ibata R.A., Gilmore G.F. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1995. — **275**. — P. 591.
 100. Ibata R.A., Gilmore G.F. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1995. — **275**. — P. 605.
 101. Janes K.A. // Astrophys. J. Suppl. Ser. — 1979. — **39**. — P. 135.
 102. Jimenez R., Padoan P., Matteucci F., Heavens A. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1998. — **299**. — P. 123.
 103. Kent S. // Astrophys. J. — 1992. — **387**. — P. 181.
 104. Kerr F.J., Lynden-Bell D. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1986. — **221**. — P. 1023.
 105. Kinman T.D., Sunzefß N.B., Kraft R.P. // Astron. J. — 1994. — **108**. — P. 1722.
 106. Kraft R.P. // Publ. Astr. Soc. Pac. — 1994. — **106**. — P. 553.
 107. Kuijken K. // In: Stellar Populations. P.C. van der Kruit and G.Gilmore (eds). IAU. Printed in the Netherlands. — 1995. — P. 195.
 108. Kulkarni S., Heiles C. // In: Interstellar Processes, Eds. D. Hollenbach & H. Thronson (Kluwer). — 1987. — P. 87.
 109. Lacey C.G. // Dynamics of Disc Galaxies, ed. B.Sundelius. — Goteborgs University. — 1991. — P. 257.
 110. Lacey C.G., Fall M. // Astrophys. J. — 1985. — **290**. — P. 154.
 111. Larson R.B. // Nature Phys.Sci.. — 1972. — **236**, No.5340. — P. 21.
 112. Lepine J.R.D., Duvert G. // Astron. Astrophys. — 1994. — **286**. — P. 60.
 113. Lewis J. Freeman K. // Astron J. — 1989. — **97**. — P. 139.
 114. Lindqvist M., Habing H.J., Winnberg A. // Astron. Astrophys. — 1992. — **259**. — P. 118.
 115. Loewenstein M. // Astrophys. J. — 2001. — **557**. — P. 573.
 116. Lynden-Bell D. // Vistas in Astronomy. — 1975. — **19**. — P. 299.
 117. Martin N.F., et al. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2004. — **348**. — P. 12.
 118. Matteucci Fr. // ASP Conf. Ser., Jose G. Funes, S. J. and Enrico Maria Corsini (eds.). — 2001. — **230**. — P. 337.
 119. Matteucci Fr. // arXiv:astro-ph/0203340 v1 20Mar 2002.
 120. Matteucci F., Francois P. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1989. — **239**. — P. 885.
 121. Matteucci F., Romano D., Molaro P. // Astron. Astrophys. — 1999. — **341**. — P. 458.
 122. Mayor M., Vigroux L. // Astron. Astrophys. — 1981. — **98**. — P. 1.
 123. McWilliam A., Rich R. // Astrophys. J. Suppl. Ser. — 1994. — **91**. — P. 749.
 124. Meynet G., Mermilliod J.-C., Maeder A. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. — 1993. — **98**. — P. 477.
 125. Meynet G., Maeder A., Schaller G., et al. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. — 1994. — **103**. — P. 97.
 126. Meyer D.M., Jura M., Hawkins I., Cardelli J.A. // Astrophys. J. — 1994. — **437**. — L59.
 127. Minitti D. // Astrophys. J. — 1996. — **459**. — P. 175.
 128. Minitti D. // Astrophys. J. — 1996. — **459**. — P. 579.
 129. Minitti D., et al. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1995. — **277**. — P. 1293.
 130. Mirabel I.F., Morras R. // Astrophys. J. — 1984. — **279**. — P. 86.
 131. Molla M., Diaz A.I., Ferrini F. // arXiv:astro-ph/0302093 v1 5 Feb 2003.
 132. Molla M., Ferrini F., Diaz A. // Astrophys. J. — 1997. — **474**. — P. 519.
 133. Molla M., Ferrini F., Gozzi G. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2000. — **316**. — P. 345.
 134. Morrison H.L., Flynn C., Freeman K.C. // Astron. J. — 1990. — **100**. — P. 1191.
 135. Nissen P.E., Schuster W.J. // Astron. Astrophys. — 1991. — **251**. — P. 457.
 136. Noh H.-R., Scalo J. // Astrophys. J. — 1990. — **352**. — P. 605.
 137. Norris J., Bessell M.S., Pickles A.J. // Astrophys. J. Suppl. Ser. — 1985. — **58**. — P. 463.
 138. Ojha D.K., Bienayme O., Robin A.C., Mohan V. // Astron. Astrophys. — 1994. — **284**. — P. 810.
 139. Ojha D.K., Bienayme O., Robin A.C., Mohan V. // Astron. Astrophys. — 1994. — **290**. — P. 771.

140. *Ojha D.K., et al.* // Astron. Astrophys. — 1996. — **311**. — P.456.
141. *Ortiz R., Lepine J.* // Astron. Astrophys. — 1993. — **279**. — P.90.
142. *Ostriker J.P., Peebles P.J.E.* // Astrophys. J. — 1973. — **186**. — P.467.
143. *Ott T., Schodel R., Genzel R., Eckart A., et al.* // Inward Bound: Studying the Galactic Centre with NAOC/CONICA // The Messenger ESO. — 2003, March, No.111. — P.1.
144. *Pagel B.E.J.* // In: Nuclei in the Cosmos ed. H. Oberhummer. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. — 1990. — P.97.
145. *Pagel B.E.J., Patchett B.E.* // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1975. — **172**. — P.13.
146. *Pagel B.E.J., TautvaiSiene G.* // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 1995. — **276**. — P.505.
147. *Pardi M.C., Ferrini F.* // Astrophys. J. — 1995. — **421**. — P.491.
148. *Peimbert M.* // IAU Symp.No 84. — 1979. — P.307.
149. *Pilyugin L.S., Edmunds M.G.* // Astron. Astrophys. — 1996. — **313**. — P.783.
150. *Pilyugin L.S., Edmunds M.G.* // Astron. Astrophys. — 1996. — **313**. — P.792.
151. *Pilyugin L.S.* // Astron. Astrophys. — 1996. — **313**. — P.803.
152. *Portinari L., Chiosi C.* // Astron. Astrophys. — 1999. — **350**. — P.827.
153. *Prantzos N., Aubert O.* // Astron. Astrophys. — 1995. — **302**. — P.69.
154. *Rana N.* // Ann. Rev. Astron. Astroph. — 1991. — **29**. — P.129.
155. *Reid I.N.* // Ann. Rev. Astron. Astroph. — 1999. — **37**. — P.191.
156. *Reid M.J.* // IAU Symp.No 136. — 1989. — P.37.
157. *Reid M.J.* // Ann. Rev. Astron. Astroph. — 1993. — **31**. — P.345.
158. *Reid N., Majewski S.R.* // Astrophys. J. — 1993. — **409**. — P.635.
159. *Reyle C.* // 25th General Assembly IAU. Abstract book. — Sydney, 13–26 July. — 2003. — P.169.
160. *Reyle C., Robin A.* // Astron. Astrophys. — 2001. — **373**. — P.886.
161. *Rich R. M.* // Astron. J. — 1988. — **95**. — P.828.
162. *Richer H.B., et al.* // Astrophys. J. — 1991. — **381**. — P.147.
163. *Robin A., Creze M. & Mohan V.* // Astron. Astrophys. — 1992. — **265**. — P.32.
164. *Robin A.C., et al.* // Astron. Astrophys. — 1996. — **305**. — P.125.
165. *Rocha-Pinto H.J., Maciel W.J.* // Rev. Mexicana Astr. Astrofis. — 1996. — **2**. — P.130.
166. *Rocha-Pinto H.J., Maciel W.J., Scalo J., Flynn C.* // Astron. Astrophys. — 2000. — **358**. — P.850.
167. *Rocha-Pinto H.J., Scalo J., Maciel W.J., Flynn C.* // Astron. Astrophys. — 2000. — **358**. — P.869.
168. *Ryan S.G., Norris J.* // Astron. J. — 1991. — **101**. — P.1835.
169. *Sandage A.R.* // Astron. J. — 1993. — **106**. — 703.
170. *Sandage A.* // Astron. J. — 1993. — **106**. — P.719.
171. *Sandage A.R., Fouts G.* // Astron. J. — 1987. — **93**. — P.74.
172. *Schwarz U.J., Wakker B.P., van Woerden H.* // Astron. Astrophys. — 1995. — **302**. — P.364.
173. *Scoville N. & Sanders D.* // In Interstellar Processes, Eds. H. Thronson & D. Hollenbach: Kluwer. — 1987. — P.21.
174. *Searle L., Sargent W.L.* // Astron. Astrophys. — 1972. — **173**. — P.25.
175. *Searle L., Zinn R.* // Astrophys. J. — 1978. — **225**. — P.357.
176. *Sembach K.R., et al.* // Astroph. J. Suppl. Ser. — 2004. — **150**. — P.387.
177. *Shaver P.A., et al.* // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1983. — **204**. — P.53.
178. *Shi X.* // Astrophys. J. — 1995. — **446**. — P.637.
179. *Smith G.H., Brodie J.P. (eds.)* // Astron. Soc. Pac. Conf. Ser. — 1993. — **48**. — P.38.
180. *Snedden C., et al.* // Astron. J. — 1994. — 107. — P.1773.
181. *Snedden C., Kraft R.P., Prosser C.F., Langer G.E.* // Astron. J. — 1992. — **104**. — P.2121.
182. *Sommer-Larsen J., Yoshii Y.* // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1989. — **238**. — P.133.
183. *Soubiran C.* // Astron. Astrophys. — 1993. — **274**. — P.181.
184. *Soubiran C.* // IAU Symp.No. 161. — 1993. — P.435.
185. *Steinmetz M.* // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1994. — **276**. — P.549.
186. *Talbot R.J., Arnett W.D.* // Astrophys. J. — 1971. — **170**. — P.409.
187. *Talbot R.J., Arnett W.D.* // Astrophys. J. — 1975. — **197**. — P.551.
188. *Terndrup D.M., Frogel J.A., Whitford A.E.* // Astrophys. J. — 1990. — **357**. — P.453.
189. *Terndrup D.M., Frogel J.A., Whitford A.E.* // Astrophys. J. — 1991. — **378**. — P.742.

190. *Tinsley B.M.* // *Fund. Cosm. Phys.* — 1980. — **5**. — P.287.
191. *Tinsley B.M.* // *Astrophys. J.* — 1981. — **250**. — P.758.
192. *Tosi M.* // *Astrophys. J.* — 1982. — **254**. — P.699.
193. *Tosi M.* // *Astron. Astrophys.* — 1988. — **197**. — P.33.
194. *Tosi M.* // *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* — 1996. — **98**. — P.298.
195. *Tosi M.* // In *Primordial Nuclei and their Galactic Evolution*, Eds. N. Prantzos, M. Tosi & R. Von Steiger. Kluwer. — 1998. — P.207.
196. *Tsujiimoto T., Yoshii Y., Nomoto K., Shigeyama T.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **302**. — P.704.
197. *Tremain S.D., Ostriker J.P., Spitzer L.* // *Astrophys. J.* — 1975. — **196**. — P.407.
198. *Twarog B.A.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1980. — **44**. — P.1.
199. *Twarog B.A.* // *Astrophys. J.* — 1980. — **242**. — P.242.
200. *Van den Bergh S.* // *Astrophys. J.* — 1991. — **375**. — P.594.
201. *Van den Bosch F.C.* // *Astrophys. J.* — 1998. — **505**. — P.601.
202. *Van den Bosch F.C.* // In *When and How Bulges Form and Evolve*, eds. C.M. Carollo, H.C. Ferguson, R.F.G. Wyse (Cambridge: CUP). — 1999. — P.50.
203. *Van den Hoek L.B.* On the chemical and spectro-photometric evolution of nearby galaxies // *Astron. Institut 'Anton Pannekoek', Amsterdam, The Netherlands.* — 1997. — 292 p.
204. *Van den Hoek L.B., de Jong T.* // *Astron. Astrophys.* — 1997. — **318**. — P.231.
205. *Van der Kruit P.* // In *The Milky Way as a Galaxy*. Ed. R.Buser and I.King. Geneva Observatory. — 1989. — P.334.
206. *Wakker B.P.* // *Ph.D. Thesis, Univ. of Groningen.* — 1990.
207. *Wakker B.P.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2001. — **136**. — P.463.
208. *Wakker B.P., van Woerden H.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **302**. — P.364.
209. *Walker T.P.* // 16. Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and 3. International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology. — Austin: Un.press. — 1993. — P.745.
210. *Walker T.P., et al.* // *Astrophys. J.* — 1991. — **376**. — P.51.
211. *White S., Frenk C.* // *Astrophys. J.* — 1991. — **379**. — P.52.
212. *White S.D.M., Rees M.J.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1978. — **183**. — P.341.
213. *Whitford A.E.* // *Astrophys. J.* — 1978. — **226**. — P.777.
214. *Winget D.E. et al.* // *Astrophys. J.* — 1987. — **315**. — L77.
215. *Wood M.A.* // *Astrophys. J.* — 1992. — **386**. — P.539.
216. *Woosley S.E., Weaver T.A.* // *Astrophys. J.* — 1994. — **423**. — P.371.
217. *Wyse R.F.G.* // P.C. van der Kruit and G.Gilmore (eds). IAU. Printed in the Netherlands. — 1995. — P.133.
218. *Wyse R.F.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1999. — **293**. — P.429.
219. *Wyse R.F.G., Gilmore G.* // *Astron. J.* — 1988. — **95**. — P.1404.
220. *Wyse R.F.G., Gilmore G.* // *Astron. J.* — 1992. — **104**. — P.144.
221. *Yuan J.W.* // *Astron. Astrophys.* — 1989. — **224**. — P.108.
222. *Zakhzhay V.A.* // In VI International Conference “Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology”, May 24–26 2006. — Kyiv, Ukraine. — 2006. — P.9.
223. *Zinn R.* // *Astrophys. J.* — 1985. — **293**. — P.424.
224. *Zinn R.* // In ASP Conf. Series No. 48 “The Globular Cluster-Galaxy Connection”, eds. J. Brodie, G. Smith, (ASP: San Francisco). — 1993. — P.38.

Поступила в редакцию 4.12.2008