

УДК 524.6-54+524.6-8 (048.83)

**В. А. Захожай**

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина  
61077 Харьков-77, пл. Свободы 4

### Структура нашей звездной системы

*Приводятся современные количественные характеристики Галактики, играющие важную роль при интерпретации ее наблюдаемой структуры. Анализируются наблюдаемые данные о распространенности газовой, звездной, субзвездной и планетной составляющих.*

*СТРУКТУРА НАШОЇ ЗОРЯНОЇ СИСТЕМИ, Захожай В. А. — Наводяться сучасні кількісні характеристики Галактики, які відіграють важливу роль при інтерпретації її спостереженої структури. Аналізуються спостережені дані про розповсюдженість газово-пиллової, зоряної, субзоряної і планетної складових.*

*THE STRUCTURE OF OUR STELLAR SYSTEM, by Zakhozhay V. A. — We present the modern quantitative parameters of the Galaxy system which are important for interpretation of its detected structure. Observational data on occurrence of the gas-dust, stars, substars and planetary components are analysed.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Усилиями Каптейна [117, 118], Шепли [50, 193, 194], Бааде [5, 56, 57], Кукаркина [28], Оорта [159], Острайкера и Пиблса [161], Эйнасто и др. [86] сложились представления о структуре Галактики как о многокомпонентной системе. Формировались представления о наличии в системе Галактики шаровых и рассеянных скоплений, галактик-спутников. Активно обсуждалось слияние шаровых скоплений с центром нашей Галактики как возможный механизм формирования балджа [42, 43, 201]. Предсказание, а затем и открытие взаимодействия Галактики с окружающим внегалактическим газовым веществом оказало влияние на установление существования короны Галактики [86, 162], без которой, как оказалось, невозможен спиральный узор диска [161], и обмена газовой составляющей между подсистемами Галактики [32]. Таким образом, Галактика не является замкнутой, она взаимодействует с непосредственно окружающим ее близким газовым окружением [179, 190, 215, 217, 218], а также с окружающими карликовыми галактиками-спутниками [107—110, 112, 113, 142]. Все это ведет к пониманию того, что образование и эволюцию Галактики,

по-видимому, нельзя рассматривать изолированно не только от ее короны, галактик-спутников, но и Местной группы галактик.

Галактика состоит не только из звездной и газовой-пылевой составляющих. Об этом свидетельствуют открытия субзвезд в ближайших скоплениях звезд и поле Галактики [18—21] и планет за пределами Солнечной системы [27]. Как известно, это космические тела с массами меньше предела Кумара, образующиеся путем самогравитации и эволюционирующие за счет запасов внутренней энергии [1, 15, 18, 20]. Открытые космические тела незвездной природы принадлежат в основном диску Галактики. Однако нельзя исключать, что такие объекты есть не только в гало, но и в короне Галактики. Отсутствие информации о них за пределами галактического диска скорее связано с наблюдательной селекцией, вызванной недостаточной чувствительностью современных приемников излучения. Поэтому важно проанализировать полученную к настоящему времени информацию об их открытиях, оценках ожидаемого числа для понимания реальной их распространенности и роли в структуре Галактики.

Целью настоящего обзора является охарактеризовать современное понимание структуры Галактики и ближайшего ее окружения. Будем придерживаться разделения Галактики на сферическую, плоскую и промежуточную составляющие, где к сферической составляющей причисляют корону, внутреннее и внешнее гало, к плоской — толстый и тонкий диски, к промежуточной — балдж. Солнечная окрестность рассматривается как составная диска Галактики, а галактический центр — как составная балджа.

#### КОРОНА И ПЕРИФЕРИЯ

Корона была предсказана в работах Оорта [159] и Острайкера и Пиблса [161] в связи с открытием холодных газовых облаков в гало, опускающихся на галактический диск с разной скоростью (позже их стали разделять на высокоскоростные и промежуточные), и обоснованием устойчивости спирального узора в диске Галактике (горячая газовая корона в состоянии своим давлением удерживать расширение холодного газа гало и дисковой спиральной структуры). Дальнейшие аргументы в пользу существования короны были получены в результате исследования кинематики подгруппы галактик-спутников нашей звездной системы [32, 86, 162]. Оказалось, что подгруппа галактик-спутников с нашей Галактикой могут образовать гравитационно связанную систему, масса которой согласуется с наблюдаемой кривой вращения Галактики, при наличии очень массивной короны.

Признаком динамически связанной системы может также служить, что галактики этой подгруппы, включающей Магелланов поток (Магеллановы Облака, погруженные в общую водородную полосу), обнаруживают концентрацию к определенной плоскости, наклоненной к плоскости Галактики под углом около  $70^\circ$ . Этот факт проявляется в том, что семь спутников Галактики (БМО, ММО и пекулярные эллиптические галактики в Драконе, Малой Медведице, Скульпторе, Киле и Печи [39]) образуют эллипс, проектирующийся на небесную сферу в пределах галактических координат от  $90^\circ$  до  $330^\circ$  по галактической долготе  $l$ , и от  $-85^\circ$  до  $45^\circ$  по галактической широте  $b$ , большая ось которого наклонена под углом  $30^\circ$  к галактическому экватору (рис. 1). Если исключить галактики Car и For, удаленные от Солнца существенно дальше соседних галактик, проецирующихся на эллипс, привлекает внимание то, что при соизмеримости расстояний до галактик UMi, LMC и SMC они расположены к Солнцу систематически ближе и находятся выше большой оси эллипса (проходящей через антицентр Галактики, имеющий координаты  $l = 180^\circ$ ,  $b = 0^\circ$ ), в то время как

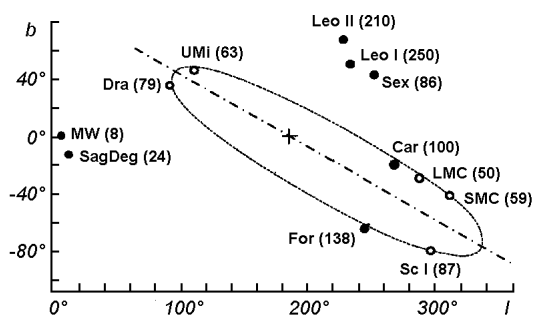


Рис. 1. Галактики нашей звездной системы. В скобках — расстояния до галактик в кпк; кружки — близкие галактики, проектирующиеся на эллипс на небесной сфере; крестик — направление на антицентр Галактики ( $b = 0^\circ$ ,  $l = 180^\circ$ ). Векторы скорости Большого Магелланова Облака (LMC) и Малого Магелланова Облака (SMC) в настоящее время направлены в сторону увеличения галактических широт и уменьшения галактических долгот (на рисунке справа налево)

расстояния до галактик Dra и Sc I систематически больше, и находятся они ниже большой оси.

Таким образом, если приводимые в литературных источниках до галактик в Киле и Печи верно определены, то они случайно спроектировались на указанный эллипс (на рис. 1 они отмечены темными кружками). Отмеченный эллипс может быть проекцией окологалактических орбит галактик БМО, ММО, в Драконе, Малой Медведице и в Скульпторе, если будет доказано, что их векторы скоростей, во-первых, направлены по касательным к указанному эллипсу (или близки к нему), и во-вторых, их угловые движения относительно центра Галактики имеют одинаковое направление с движением БМО и ММО.

Модель Галактики Эйнасто с сотрудниками [85] включает пять составляющих: ядро, балдж, гало, диск и корону с общей массой  $1.2 \cdot 10^{12} m_\odot$  и средней шкалой высот 25 кпк [44]. Корона Галактики и ее галактики-спутники занимают в пространстве шаровые слои (рис. 2, а) в пределах галактоцентрических радиусов  $R_{GC}$  от 20 (внутренняя граница короны) до 250 кпк (удаление самой далекой галактики-спутника Leo I).

Шаровые скопления прослеживаются до 120 кпк (AM1) от центра Галактики [6, 103]. В пределах 20...120 кпк обнаружено 19 шаровых скоплений [6] с пространственным уплощением по оси  $Z$  (шкала высот  $Z_h \sim 30$  кпк при экспоненциальном законе распределения концентрации или пространственной плотности  $n(Z) = n_0 \exp(-|Z|/|Z_h|)$ ,  $\rho(Z) = \rho_0 \exp(-|Z|/|Z_h|)$ , где  $Z$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения). Кроме пяти галактик, попадающих на эллипс (рис. 1), есть еще три пекулярные эллиптические галактики: в Стрельце, Секстанте и Киле. Галактика в Киле, проектируясь на эллипс, находится на небесной сфере по соседству с БМО. Однако в пространстве они существенно разнесены: до БМО расстояние оценивается в 50 кпк, до галактики в Киле — 100 кпк [30, с. 600, 203, 205, 206]. До 1980-х гг. расстояние до последней оценивалось в 170 кпк [39].

Природу короны Галактики трудно связать с разреженным газом, поскольку при ее ожидаемых размерах и массе средняя концентрация должна быть  $0.01\text{--}0.02 \text{ см}^{-3}$ , что доступно для обнаружения современными астрономическими средствами. Поэтому наиболее «популярными» кандидатами, заполняющими область короны Галактики, считаются объекты населения III (маломассивные звезды низкой светимости и звездные остатки) и нейтрино с ненулевой массой покоя [32].

В последнее время существенные результаты по глубокому зондированию области за пределами 10 кпк от центра Галактики были получены благодаря наличию Слоуновского (SDSS) и других крупноформатных обзоров [67]. Фотометрическая чувствительность SDSS и достаточный блеск

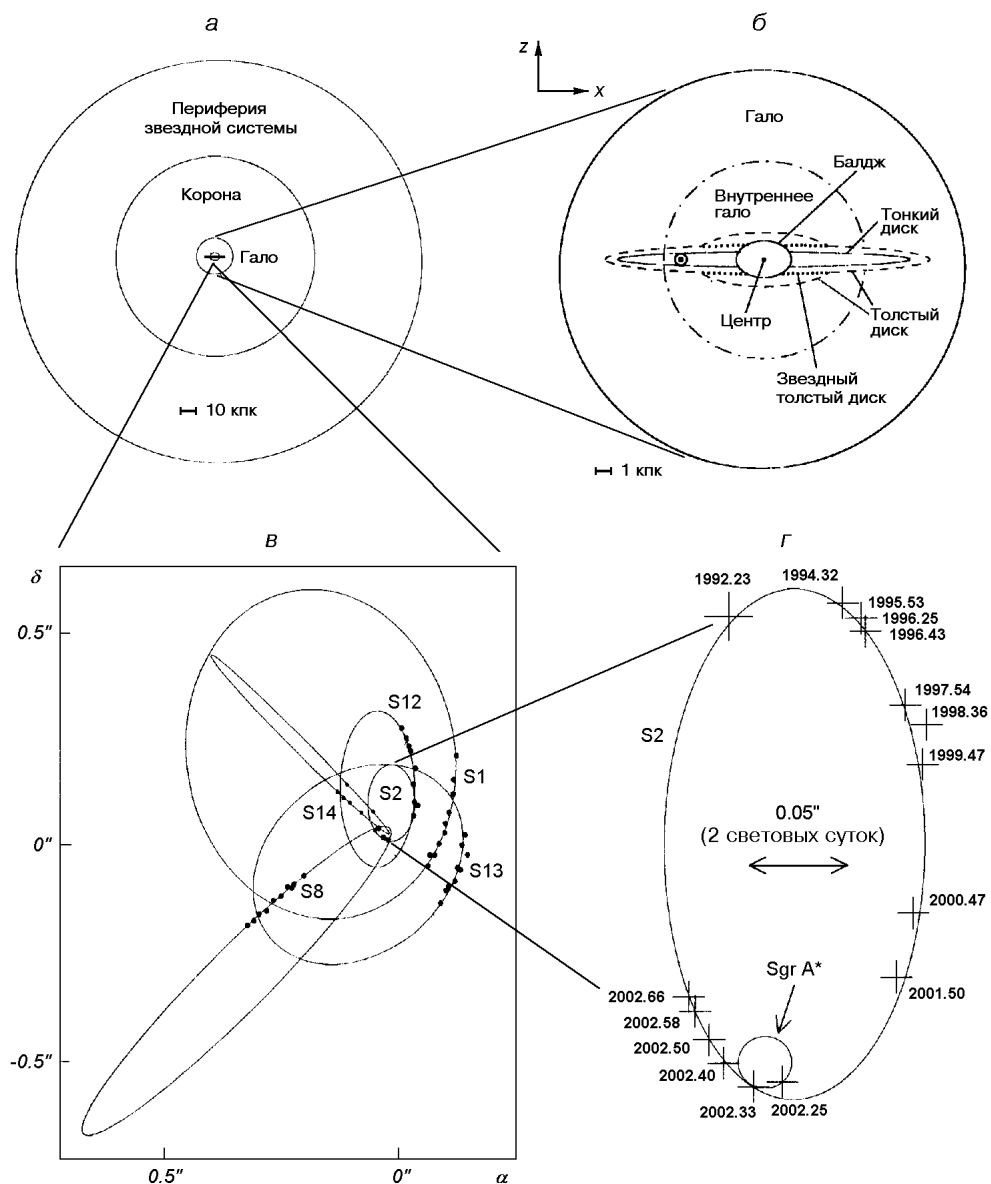


Рис. 2. Строение Галактики: а, б — вид сбоку, проекция на плоскость XZ в разных масштабах; в, г — вид на галактический центр из Солнца (показаны орбиты шести звезд) [163]

звезд типа RR Лиры и «окрашенных» A-звезд в SDSS [67] позволили прозондировать структуру Галактики на больших расстояниях, до 75 кпк, что совпадает с оценками радиуса короны [85, 86]. Аналогичные результаты были получены по обзорам углеродных звезд [112] и звезд-гигантов [139]. Веттерер и Мак Гроу [220] на основе компиляционных данных об обнаруженных звездах типа RR Лиры до расстояний 110 кпк от центра Галактики получили профиль концентрации звезд типа RR Лиры в виде степенного закона  $n_{RR Ly\gamma} \propto R_{GC}^{-3}$ . Полученная зависимость хорошо согласуется с результатами, Айвезич и др. [114] по данным SDSS-обзора для области ближе 35 кпк и демонстрирует два существенных отклонения от гладкой степенной зависимости профиля ( $n_{RRLy\gamma} \propto R_{GC}^{-3}$ ): избыток в плотности числа для  $R_{GC} \approx 40$  кпк и резкий спад для  $R_{GC} \geq 50$  кпк (рис. 3) [67].

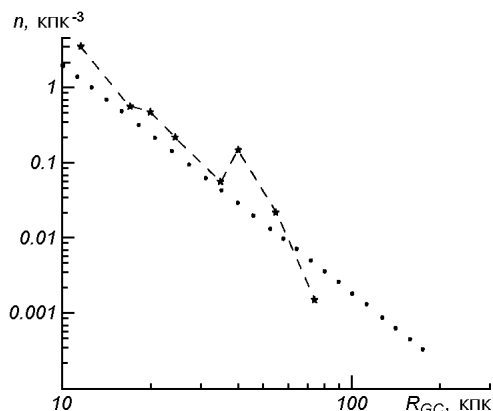


Рис. 3. Зависимость плотности  $n$  звезд типа RR Лиры от галактоцентрического расстояния  $R_{GC}$ ; точки — данные [220], звездочки — [67]

Согласно работе Ибата и др. [111] обнаруженный избыток в профиле концентрации звезд типа RR Лиры в районе  $R_{GC} \approx 45$  кпк вызван скученностью звезд вблизи апоцентра орбиты галактики в Стрельце, взаимодействующей в настоящее время с нашей Галактикой. Если большинство звезд типа RR Лиры в полосе обзора принадлежит потоку Стрельца, то за его апоцентром звезд не должно быть, что было бы естественным объяснением спада плотности числа звезд типа RR Лиры в области  $R_{GC} \geq 60$  кпк, обнаруженного по SDSS-данным. Айвезич и др. [114] объясняют повышенную плотность звезд за счет идентифицируемой структуры в исследованной области, содержащей около 70 звезд RR Лиры, а крутой спад SDSS-данных между 60 и 70 кпк — свидетельством обнаружения «края» звездной составляющей Галактики. (Интересно отметить, что все субструктуры, обнаруженные в обзоре углеродных звезд и SDSS-данных [111], можно было бы получить с помощью одного приливного потока карликовой галактики в Стрельце. Однако с такой интерпретацией не все согласны, считая, что число приливных потоков за время существования Галактики было не меньше 20, как это следует из результатов моделей образования звезд короны из разрушенных приливом, аккрецировавших карликовых спутников в холодном темном веществе (CDM-модели) [67].)

Согласно данным [112] наблюдаемое узкое приливное ответвление у карликовой галактики в Стрельце свидетельствует о почти сферическом распределении массы внутри области  $R_{GC} \leq 60$  кпк. Это согласуется, в частности, с результатами предсказаний CDM-моделей образования звезд в сферической составляющей из разрушенных приливом аккрецировавших карликовых галактических спутников [67].

Шаровые скопления сферической подсистемы отличаются от скоплений всех других подсистем Галактики не только пространственным расположением, но и астрофизическими параметрами [6]. Они имеют преимущественно прямое вращение ( $V_{вр} = 263 \pm 221$  км/с \*), большие дисперсии скоростей звезд ( $\sigma_v = 126 \pm 24$  км/с), среднее значение металличностей  $\langle [Fe/H] \rangle = -1.65 \pm 0.06$  и почти нулевые значения градиентов металличностей с удалением от центра Галактики и от галактической плоскости:  $d[Fe/H]/dR = d[Fe/H]/d|Z| = 0.000 \pm 0.002$ .

Замечено, что размеры скоплений в среднем становятся больше с удалением от центра Галактики, и в пределах 40 кпк подчиняются закону  $r_h \propto \sqrt{R}$  [207]. С этим законом согласуется полученный Т. В. Борковой и В. А. Марсаковым [6] наклон  $0.44 \pm 0.04$  прямой средней квадратичной

\* Здесь и далее, если специально не оговорено, приводятся средние квадратичные отклонения.

регрессии в координатах  $\lg R$ ,  $\lg r_h$ . Массы скоплений и параметр их центральной концентрации с удалением от центра Галактики уменьшаются и являются в среднем самыми низкими ( $\langle \lg(M/m_\odot) \rangle = 4.8 \pm 0.2$ ,  $\langle \lg \rho_0 \rangle = 1.6 \pm 0.6$ ) среди шаровых скоплений других населений Галактики.

На периферии системы Галактики, в пределах галактоцентрических расстояний 120...250 кпк, известно шесть пекулярных эллиптических галактик-спутников (по две в созвездиях Большой Медведицы и Льва, и по одной — в Печи и Пегасе), с общей массой  $2.5 \cdot 10^7 m_\odot$  [30, с. 600, 39].

Согласно модели Эйнасто, Джови и Каасик в короне и периферии Галактики, по-видимому, сосредоточена большая часть вещества —  $(7...11) \cdot 10^{11} m_\odot$  [45, 84, 85]. Такой массы достаточно для удержания гравитационным полем короны ближайших карликовых галактик-спутников нашей звездной системы в пределах их орбит [32, с. 172] и стабилизации самогравитирующего равновесного галактического диска. (Напомним, что равновесный диск устойчив, когда на вращение приходится не более 0.3 полной кинетической энергии системы [161], а дисперсия скоростей звезд не менее чем в полтора раза превосходит скорость вращения [32, с. 176].)

#### ГАЛО

Объекты населения гало наблюдаются на высотах над галактическим экватором более 2 кпк, а шаровые скопление гало — в области ближе 20 кпк от центра Галактики. Согласно Вокулеру [79] яркость сферической составляющей Галактики падает по закону  $R^{-1/4}$ .

В гало все население шаровых скоплений делится на две отдельные группы по строению горизонтальной ветви на диаграмме спектр-светимость, разделенных по пространственному расположению, кинематическим параметрам и химическому составу со средними металличностями  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1.71 \pm 0.05$  и  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1.56 \pm 0.07$  [6]. Подсистема с экстремально голубыми горизонтальными ветвями на диаграмме спектр-светимость занимает в Галактике сферический объем с радиусом около 9 кпк (рис. 4, а, б) — область внутреннего гало. Составляющие этой подсистемы имеют большую скорость вращения и значительную 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 область 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 (рис. 4, в). В проекции на плоскость  $XU$  эти скопления занимают меньшую площадь (рис. 4, г). При аппроксимации галактоцентрическим эллипсом ее полуоси равны 18 кпк и 10 кпк. Малая полуось перпендикулярна к оси  $Z$  и лежит под углом  $30^\circ$  к координате  $X$ . Подсистема молодого гало имеет, вероятно, обратное вращение ( $V_{\text{вр}} = -23 \pm 54$  км/с) при высокой дисперсии остаточных скоростей ( $\sigma_v = 140 \pm 18$  км/с). «Малометаллические» скопления гало ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.0$ ), занимающие сферический объем с радиусом 19 кпк, показаны на рис. 4 д, ж.

Всего в области гало сейчас известно 84 шаровых скоплений, включающих 43 скопления старого и 41 скопление молодого гало. Средние массы скоплений молодого и старого гало в пределах ошибок одинаковы:  $\langle \lg(M/m_\odot) \rangle = 5.45 \pm 0.15$ . Радиусы скоплений молодого гало систематически несколько выше, чем у подсистемы старого гало ( $\langle r_{\text{ny}}^* \rangle = 4.0 \pm 0.4$  пк и  $\langle r_{\text{ho}}^* \rangle = 3.4 \pm 0.3$  пк). Центральные концентрации имеют обратную тенденцию:  $\langle \lg \rho_{0y} \rangle = 3.2 \pm 0.3$  и  $\langle \lg \rho_{0o} \rangle = 3.8 \pm 0.3$  [6].

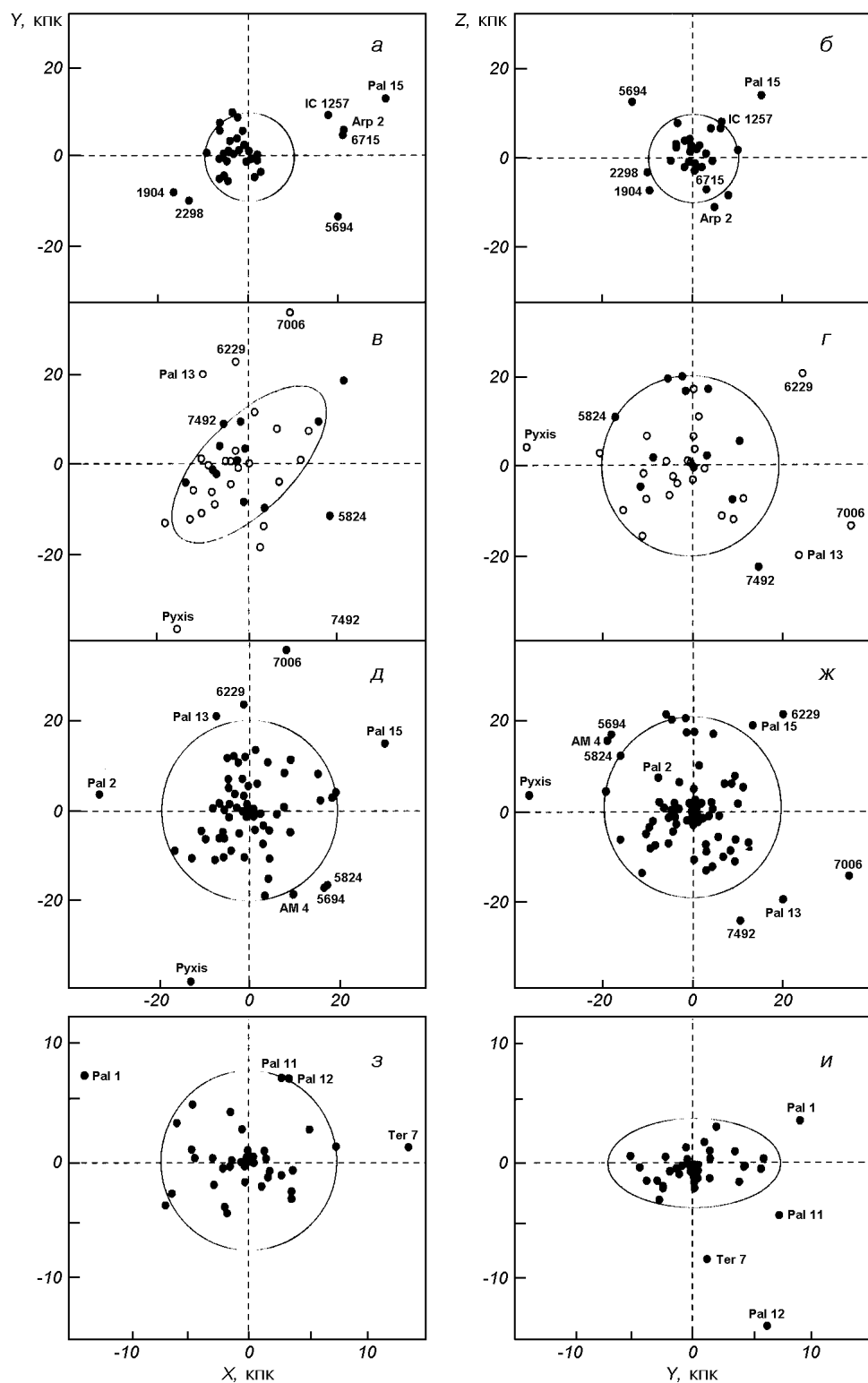


Рис. 4. Пространственное распределение шаровых скопления в проекциях на плоскости  $XY$  и  $YZ$  [6]. К населению старого гало (*а*, *б*) отнесены скопления, имеющие цвет  $C \equiv (B - R)/(B + V + R) = 0.85$ ; к молодому гало (*в*, *г*) — скопления с  $C \leq 0.32$  (кружки) и  $C > 0.32$  (точки); *д*, *ж* — «малометаллические» скопления гало с  $[Fe/H] < -1.0$ ; *з*, *и* — «металлические» скопления толстого диска с  $[Fe/H] \geq -1.0$

Согласно данным каталога шаровых скоплений [6] общая масса известных шаровых скоплений в гало составляет  $3 \cdot 10^7 m_{\odot}$ . Вся светящаяся масса гало примерно в 100 раз больше ( $3 \cdot 10^9 m_{\odot}$  в полном согласии с принимаемым отношением массы гало к массе диска (0.1) при моделировании химической эволюции Галактики [89, 168].

В гало находятся самые крупные высокоскоростные облака: на расстоянии около 8.5 кпк от Солнца — Комплекс А [9] и высокоскоростной (для двух фрагментов  $-128$  и  $-112$  км/с [191]) Комплекс С: газовое облако с низкой металличностью ( $[O/H] = -0.79_{-0.16}^{+0.12}$ ), расположенный ниже всех облаков Млечного Пути — в направлении на  $l = 121^{\circ}$ ,  $b = 58^{\circ}$  и около 3.5 кпк от галактической плоскости [216], опускающийся на Млечный Путь [191]. Два других луча зрения Комплекса С, проанализированные Коллинзом и др. [71], дают аналогичные металличности:  $[O/H] = -0.71_{-0.25}^{+0.36}$ ,  $[O/H] = -0.59_{-0.17}^{+0.25}$ .

#### ДИСК

Современное разделение диска на толстый и тонкий основано на анализе галактоцентрических кинематических параметров и металличностей звезд [69, 153, 156, 157, 183, 185, 196, 197] (рис. 2, б). Данные в работах по кинематическим и химическим характеристикам звезд населений тонкого и толстого дисков и гало, получены из исследований звезд с большим собственным движением [69, 153, 183, 185]. При анализе обзоров спектроскопических наблюдений, проведенных с объективной призмой [60, 150, 155], была обнаружена растущая степень перекрытия в металличности звезд, населяющих толстый диск и гало, различить которую можно только рассматривая кинематические и химические характеристики отдельных звезд. Это видно из анализа зависимостей между галактической орбитальной скоростью и металличностью звезд [69, 153]. Толщиной диска считается величина  $|Z| = 2Z_0$ , при которой плотность падает на порядок [32, с. 94]. Отмечаются расхождения в распределениях цвета и поверхностной плотности тонкого и толстого диска [158, 181]. Распределения плотности звезд с абсолютными величинами  $M_V \geq 3.5^m$  (по данным обзора *UBVR*-фотометрии и собственных движений звезд в разных галактических направлениях и по другим источникам) выражаются через сумму двух экспонент со шкалой высоты  $260 \pm 50$  пк (тонкий диск) и  $760 \pm 50$  пк (толстый диск) [158]. При этом вторая экспонента соответствует толстому диску с локальной плотностью  $7.7_{+2.5}^{-1.5}$  % относительно тонкого. Толстый диск ведет себя как население, кинематически отличное от тонкого диска (где было выявлено увеличение дисперсии скорости звезд с высотой над галактической плоскостью). Вертикальный градиент дисперсии скоростей в тонком диске достигает 20 км/с для звезд старше миллиарда лет [90], а толстом диске — 45 км/с [128].

Анализ показал, что большинство звезд из выборки 200 F-G-карликов [82] находилось в момент их образования на максимальных расстояниях от галактической плоскости  $Z_{\max} < 0.5$  кпк. Это в значительной мере исключает их из населения гало и может служить аргументом их принадлежности к населению диска.

Газово-пылевая среда концентрируется к тонкому диску в пределах 10 кпк от центра Галактики [29]. Далее 10 кпк газово-пылевой слой искривляется, сосредотачиваясь в основном в толстом диске, поднимаясь над плоскостью Галактики к северу, в направлении галактической долготы  $l$  от 0 до  $180^{\circ}$ , и к югу — в пределах  $l$  от  $180$  до  $360^{\circ}$ . Концентрация



нейтрального водорода H I по галактическому диску приблизительно постоянна в диапазоне 4—10 кпк, в отличие от распределения молекулярного водорода, а плотность всего газа увеличивается к центру, достигая максимума на расстоянии 4—6 кпк от центра Галактики [144].

Нейтральный водород H I наблюдается в виде диффузных облаков и межоблачного газа. Диффузные облака H I имеют концентрацию порядка  $40 \text{ см}^{-3}$ , температуру 70 К [32]. Средняя концентрация частиц диффузных облаков, «размазанных» по всему диску Галактики, равна  $0.2 \text{ см}^{-3}$ , их среднее расстояние от галактической плоскости — около 110 пк. Размеры диффузных облаков имеют бимодальное распределение с характерными размерами 10 и 70 пк. Десятипарсековые облака встречаются в восемь раз чаще семидесятипарсековых. Межоблачный газ имеет температуру 6000 К и концентрацию в пределах  $0.1\text{—}1 \text{ см}^{-3}$ . С увеличением поверхностной плотности от  $2 \cdot 10^{19}$  до  $2 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$  все более отмечается наличие молекул  $\text{H}_2$ .

Молекулярные облака  $\text{H}_2$  имеют массы порядка  $10^3 m_\odot$  и более, среднюю концентрацию — минимум  $10^6 \text{ см}^{-3}$ , концентрацию в центре —  $10^9 \text{ см}^{-3}$  [32]. В диске Галактики обнаружены два населения молекулярных облаков [208]: 1) с температурами 5...200 К, которые наблюдаются в основном в областях спиральных рукавов, где образуются преимущественно массивные O- и B-звезды; и 2) холодные небольшие молекулярные облака с температурами 20...40 К, которые рассеяны по галактическому диску и обычно не имеют звезд, спектральный класс которых был бы более ранним, чем поздний класс B. Самые большие комплексы молекулярных облаков в диске (с размерами порядка 1 кпк и массами  $10^7\text{...}10^8 m_\odot$ ) содержат, согласно наблюдениям, по несколько гигантских молекулярных облаков ( $\sim 100$  пк,  $10^4 m_\odot$ ). Такие гигантские молекулярные облака часто содержат меньшие облака ( $\sim 1\text{...}10$  пк,  $100\text{...}1000 m_\odot$ ), которые, в свою очередь, могут содержать плотные и компактные ядра облаков ( $\sim 0.1$  пк,  $1\text{...}10 m_\odot$ ). Согласно наблюдениям звезды образуются только в этих компактных ядрах молекулярных облаков [208].

Наиболее холодными являются изолированные темные облака со средней температурой менее 10 К и концентрацией менее  $1000 \text{ см}^{-3}$ . В центре таких облаков достигаются значения температуры 50 К и концентрации  $5000 \text{ см}^{-3}$ . Самыми горячими в межзвездной среде являются области коронального газа, температура и концентрация которых достигают значений 6000 К и  $0.005\text{...}0.03 \text{ см}^{-3}$ . Предполагается, что эти области с размерами до 100 пк и возрастом  $10^7$  лет образовались вследствие вспышек Сверхновых II типа [32].

По кривым вращения подсистем нейтрального и ионизированного водорода и молекулярных облаков Галактики определены радиусы, где заканчиваются резкие падения плотности в диске:  $R_{GC1} = 7.2 \pm 0.2$  кпк и  $R_{GC2} = 14.9_{-0.6}^{+0.4}$  кпк [35]. «Быстрое» уменьшение плотности, начинающееся с  $R_p = 13 \pm 1$  кпк  $\approx R_{GC2}$ , объясняется внешним усечением диска Галактики и наличием перехода от однородного внутреннего гало к внешнему.

В области, ограниченной окружностью с радиусом около 7 кпк в плоскости XY и эллипсом с Z-полуосью около 3 кпк на плоскости YZ (со шкалами длин и высот в кпк):  $X_0 = 3.0 \pm 0.5$ ,  $Y_0 = 2.0 \pm 0.5$ ,  $Z_0 = 1.0 \pm 0.2$ ), выделяется подсистема, состоящая из 38 шаровых скоплений ( $V_{вр} = 165 \pm 38$  км/с,  $\sigma_v = 23 \pm 30$  км/с) [6] (рис. 4, з, и). Средняя металличность скоплений существенно выше,  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -0.56 \pm 0.05$ , а вертикальный градиент металличности самый больший,  $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = 0.163 \pm 0.060$ , по сравнению с шаровыми скоплениями гало и короны. Средние массы и размеры скоплений ниже, чем у скоплений гало ( $\langle \lg(M/m_\odot) \rangle = 5.2 \pm 0.1$ ,

$\langle r_{\text{н}}^* \rangle = 2.6 \pm 0.3$ ), центральные концентрации примерно такие же —  $\langle \lg \rho_0 \rangle = 3.5 \pm 0.7$ .

Наблюдаемый быстрый приток металлодефицитного газа, направленный к диску Галактики, является, по-видимому, обычным явлением [75, 187]. Значения современной скорости притока газа в галактический диск, основанные на наблюдениях быстрых облаков ( $\geq 250$  км/с), на наблюдениях атомарного водорода, полученные из анализа фона мягких X-лучей, составляют  $0.2 \dots 1.5 m_{\odot}/\text{год}$  [73, 130, 148, 210]. Это согласуется с трехкомпонентной моделью химической эволюции Галактики Пилюгина и Эдмундса [167—169], предсказывающей для современного темпа притока газа из экстрагало в диск значение порядка  $1 m_{\odot}/(\text{пк}^2 \cdot \text{млрд лет})$  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). Прантзос и Ауберт [170, 171] получили несколько большую оценку для современного темпа звездообразования в солнечной окрестности  $2 \dots 5 m_{\odot}/(\text{пк}^2 \cdot \text{млрд лет})$  для экспоненциально спадающей скорости притока с временной шкалой порядка 3 млрд лет. Ван ден Хозк и де Йонг [210], используя современный темп звездообразования [79] —  $\sim 3.5 m_{\odot}/\text{год}$ , получили, что 30...40 % звезд могли образоваться за счет аккреции газа на диск Галактики.

Наблюдательное подтверждение вызванного аккрецией звездообразования в солнечной окрестности было представлено в 1990-х гг. для облачного комплекса Ориона [130, 146], пояса Гулда [72] и рассеянного скопления  $\zeta$  Скульптора [83]. Это может служить аргументом, что большинство активных звездообразующих областей в солнечной окрестности частично образовались из облаков, принадлежащих гало Галактики.

Вблизи галактической плоскости обнаружено несколько крупномасштабных звездных сгустков, самый крупный из которых наблюдается в созвездии Большого Пса [142]. Он имеет координаты  $l = 240^\circ$ ,  $b = 8^\circ$ , удален от центра Галактики на расстояние  $R_{\text{GC}} = 12.0 \pm 1.2$  кпк, а его орбитальный эксцентриситет, согласно модели Мартина и др. [142], примерно равен значению 0.5, типичному для звезд толстого галактического диска с металличностью  $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.2^*$  [70]. Вертикальная шкала высот этой структуры, равная  $0.73 \pm 0.05$  кпк, также близка к значениям для толстого диска: 0.8 кпк [176] и  $0.76 \pm 0.05$  кпк [158]. Поэтому вполне возможно, что в работе [142] обнаружен один из галактических «кирпичиков», из которых строится толстый диск. Обнаруженная структура в созвездии Большого Пса окружена небольшой группой шаровых скоплений (NGC 1851, NGC 1904, NGC 2298 и NGC 2808 — все они принадлежат подсистеме молодого гало согласно каталогу шаровых скоплений [6]) и множеством рассеянных скоплений. Население M-карликов в этом сгустке количественно аналогично тому, что имеется в ядре карликовой галактики в Стрельце.

\* Бирз и Соммер-Ларсен [60] показали, что население толстого диска простирается до очень низких металличностей. Согласно этой работе около 30 % металлодефицитных звезд их выборки, с металличностями  $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.5$  и практически все звезды с  $-1.0 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.5$ , находящиеся на расстоянии 1 кпк от Солнца, имеют кинематические характеристики, типичные для населения толстого диска. Происхождение такого населения связывают с механизмом двух притоков, предложенного для объяснения распространенности химических элементов в диске Галактики [143]. Согласно этой теории 50 % звезд населения толстого диска с  $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.0$  должно образовываться в спутниковых галактиках, а затем попадать в Галактику путем аккреции в период времени, соответствующий провалу в звездообразовании. С этими данными принципиально согласуется радиальный градиент металличности  $[\text{Fe}/\text{H}]$  в диске, полученный Джейнсом [115] по данным о DDO-фотометрии красных гигантов в 41 рассеянном скоплении и в поле Галактики.

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  $20^\circ$  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 гауссовского профиля  $11.6 \pm 1.9^\circ$  [142].

«Южная Дуга» наблюдается на галактических широтах  $110^\circ < l < 210^\circ$ , от центра Галактики на  $R_{GC} = 12.0 \dots 15.1$  кпк, и может быть продолжением структуры, обнаруженной ранее в южном полушарии ( $180^\circ < l < 227^\circ$ ,  $R_{GC} = 20 \pm 2$  кпк) [110]. 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). Координаты сгустков приведены здесь согласно галактоцентрическим координатам  $R$ ,  $\Phi$ ,  $z$  [142], ограничивающим область  $270^\circ < l < 90^\circ$  и  $|b| < 30^\circ$ .

Имеются аргументы для предположения о том, что толстый диск непрерывно растет даже сейчас благодаря аккреции карликовых галактик, находящихся на компланарных орбитах. Чтобы диск имел современную массу, достаточно нескольких слияний с Галактикой карликовых галактик (с массой порядка  $10^9 m_\odot$ ) с размерами подобно той, что наблюдается в Большом Псе.

Наблюдения и моделирование Мартина и др. [142] подтверждают анализ Абади и др. [51], в котором 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 [88, 112].

На основании изучения галактических профилей атомарного и молекулярного водорода [74, 80, 125, 129, 188], звездного профиля галактического диска [96, 131], моделей Галактики, основанных на ИК-наблюдениях «Скайлэб» и ИРАС [119, 160, 180], Прантзос и Ауберт [170] пришли к выводу, что далее галактоцентрической орбиты Солнца (т. е. дальше 8 кпк) поверхностная плотность вещества звезд соизмерима с газовой. Таким образом, значение общей массы диска (газ+звезды)\* составляет  $(4-5) \cdot 10^{10} m_\odot$  (без учета звездных остатков: белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр, которые могут добавить по массе еще 10—20 % вещества) [170]. Для массы Галактики в пределах сферы с радиусом около 15 кпк наиболее распространенная оценка  $(1.5-2) \cdot 10^{11} m_\odot$  [29, 45].

#### СПИРАЛЬНЫЙ УЗОР, СОЛНЦЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТИ

Волновая природа спиральной структуры Галактики является наиболее признанной. Она стала популярной после выхода работ Лина, его коллег и последователей [129, 135]. Анализ становления проблемы спиральной структуры Галактики и соответствующие ссылки можно найти в работах [32, 40, 132, 134, 182, 200].

Достоверное число спиралей в нашей Галактике продолжает оставаться неустановленным. Нельзя исключать, что она может оказаться трех- или

\* Доля массы, приходящаяся на межзвездную среду, составляет 0.02, 1 % из которой приходится на пыль [7, 8, 11, 29, 45].

даже четырехрукавной [38, 39]. Однако в этой ситуации остаются наиболее вероятными двухрукавные модели нашей Галактики, разработанные Лином [133, 135], Л. С. Марочником и др. [31, 140, 141] и наиболее согласованные с наблюдательными данными. (В монографии Рольфа [40] приведены сравнения спиральной структуры Галактики по данным Керра и Уивера с моделями Лиина и Л. С. Марочника, Мишурова, А. А. Сучкова.) В этих моделях не нашло отражение наличие рукава Ориона, внутри которого находится Солнце [40]. Дело в том, что существование ветвей Персея и Стрельца подтверждается данными о пространственном распределении зон H II, пульсаров и нейтрального водорода, а рукав Ориона не проявляется ни по этим данным, ни по структуре поля скоростей звезд [44].

Таким образом, современное положение Солнца находится между спиральными рукавами Персея и Стрельца. Согласно оценкам Л. С. Марочника и А. А. Сучкова [32], полученным по параметрам спирального узора Галактики [37], Солнце оказалось в современном положении спустя 4.6 млрд лет как покинуло рукав Стрельца. Через 3.4 млрд лет Солнечная система должна попасть в рукав Персея. Полученные оценки в настоящее время могут быть уточнены в связи с новыми определениями расстояния до центра Галактики и значения орбитальной галактоцентрической скоростью Солнца. Требуется также влияние галактоцентрического удаления Солнца в процессе эволюции Галактики [209]. Согласно вычислениям Уайлена и др. [222] радиальная галактоцентрическая координата Солнца увеличилась за время его существования примерно на 2 кпк [209]. Это соответствует средней радиальной скорости удаления Солнца от центра Галактики 400 м/с. В основу вычислений положены значения избытков железа и кислорода в Солнце ( $\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$  и  $\Delta[\text{O}/\text{H}]$ ) по сравнению с их средним содержанием в звездах, образованных 4.5 млрд лет назад и наблюдаемых на современном солнечном галактоцентрическом расстоянии: радиальный градиент металличности и современное солнечное галактоцентрическое расстояние, 8—8.5 кпк [36, 35, 172, 174, 175].

Солнце возвышается над галактической плоскостью на 10—20 пк и в процессе орбитального вращения удаляется от галактической плоскости [26, 29, 46]. Ожидается, что максимальное возвышение над галактической плоскостью составит 90 пк. Из этого, в частности, следует, что наклон галактической орбиты Солнца составляет 40'. При эксцентриситете, близком к нулю (в настоящее время эксцентриситет не известен), это соответствует достижению Солнцем максимального удаления от галактической плоскости через 40...50 млн лет.

Оценки расстояния  $R_0$  Солнца от центра Галактики, полученные с середины 1970-х гг., охватывают интервал от 6 до 10.5 кпк [87, 120, 172, 175]. В работах 1990-х гг. и более поздних интервал сузился до 6.5—9 кпк [35, 174, 175]. Кинематические оценки [33—36], полученные по анализу движения подсистем нейтрального и ионизированного водорода молекулярных облаков Галактики, составляют  $R_0 = 8.2 \pm 0.7$  кпк. Это соответствует галактическому году около 200...225 млн лет для орбитальной скорости Солнца 250...225 км/с.

Диапазон изменения показателя степени спектра масс звезд поля, околосолнечного окружения находится в пределах  $\gamma = -0.4...-3.3$  [10, 16, 41, 103, 123, 173, 184, 199, 229]. Разброс значений  $\gamma$  связан с выбором: 1) интервалов масс, на которых производилась аппроксимация спектра масс (как правило, степень растет по модулю с увеличением масс звезд); 2) различных выборок звезд; и 3) различных методов вычисления спектра масс [17]. Этот диапазон изменения показателя степени спектра масс практически совпадает с соответствующим диапазоном  $\gamma$  для рассеянных скоплений

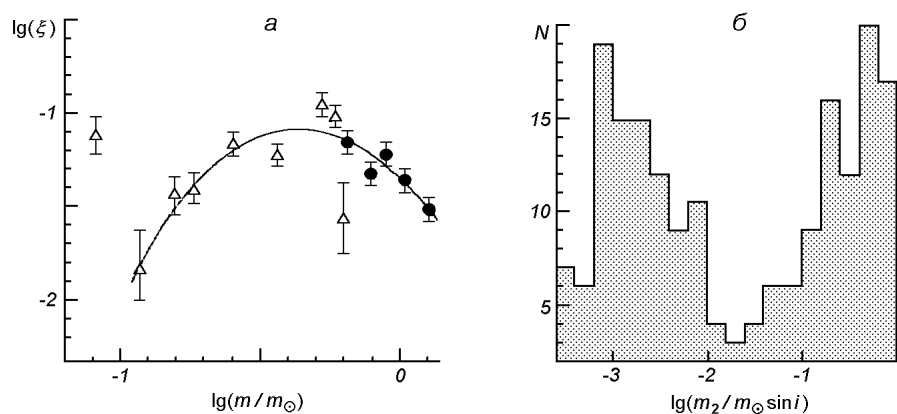


Рис. 5. Начальная функция масс  $\xi$  (а) по данным [209] (треугольники) и [184] (точки); б — распределение количества  $N$  планет, субзвезд и звезд-карликов [204] по их массам  $m_2 \sin i$

[17]. Анализ показал, что есть модели при низких значениях минимальной массы субзвезд, в которых масса темного вещества Галактики за счет субзвезд может составлять до 40 % от общей массы Галактики, а по числу объектов звездная и субзвездная составляющие могут сравняться. (При  $\gamma \rightarrow 0$  доля субзвезд (по массе) может составлять несколько процентов, а при  $\gamma = -1$  и более (по модулю) — 20—30 % и более [19, 230]). Это приведет к тому, что на этапах общего галактического звездообразования ИК-функция светимости во многом может быть обязана субзвездной составляющей [18, 20].

Согласно Бесселю и Стрингфеллоу функция светимости самых слабых звезд главной последовательности оказывается гладкой, и из экстраполяции этой функции масс до нулевой массы не следует, что в субзвездах заключена большая масса [63]. Обзоры солнечной окрестности также не обнаружили существенного увеличения функции звездных масс в сторону меньших масс [124]. Более того, из анализа начальной функции масс, вычисленной на основании наблюдательных данных 257 М-карликов ( $8^m \leq M_V \leq 18.3^m$ ), обнаруженных с помощью телескопа Хаббла, следует, что градиент функции масс  $dN/dm$  достигает максимума при  $m/m_\odot \approx 0.43$  [209] (рис. 5, а). После достижения максимума отмечается ее резкий спад: звезд с абсолютными величинами  $M_V \approx 12^m$  ( $m \approx 0.25 m_\odot$ ) более чем в три раза больше, чем звезд с  $M_V \approx 14^m$  ( $m \approx 0.14 m_\odot$ ). Наличие максимума функции светимости, соответствующего звездам с абсолютными величинами  $M_V = 12^m$ , и ранее отмечалось для звезд, находящихся ближе 10 пк от Солнца [14—16]. Поведение наблюдаемого уменьшения в функции светимости М-карликов хорошо согласуется также с наземными фотометрическими исследованиями близких звезд [198].

Современная пороговая чувствительность обнаружения субзвезд по их ИК-излучению порядка  $10^{-5} L/L_\odot$  [19, 21, 230]. Это соответствует предельно обнаружимым массам  $0.01 m_\odot$  и означает, что не представляется возможным объективно осуществить экстраполяцию наблюдаемого спектра масс в сторону предельно малых масс и достоверно оценить их долевого вклад. В то же время появился метод лучевых скоростей, с помощью которого обнаруживаются спутники с массами порядка  $10^{-4} m_\odot$  [186]. Это позволило надежно обнаруживать спутники у двойных и кратных звезд с субзвездными массами. На рис. 5, б приведено бимодальное распределение, полученное на

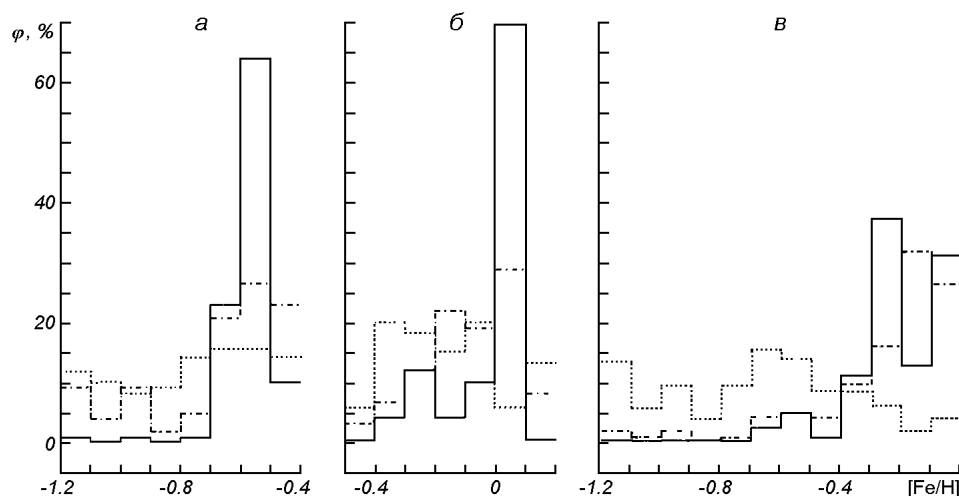


Рис. 6. Распределения звезд окрестностей Солнца по металличностям. На фрагменте *а*: пунктир — для звезд гало (выборка субкарликов и звезд типа RR Лиры по данным [44]), штрих-пунктир — для звезд окрестностей Солнца по исходной выборке [25], сплошная линия — по выборке [25], исправленной за селекцию (плотность распределения). На фрагменте *б*: пунктир — для звезд окрестностей Солнца по выборке G-карликов [44], штрих-пунктир — для F-, G-, K-карликов, находящихся ближе 30 пк от Солнца, по исходной выборке [25], сплошная линия — по выборке [25], исправленной за селекцию. На фрагменте *в*: пунктир — для звезд, принадлежащих шаровым скоплениям [6], штрих-пунктир — для звезд окрестностей Солнца по исходной выборке [25], сплошная линия — по выборке [25], исправленной за селекцию

основании наблюдений звезд методом лучевых скоростей, демонстрирующее так называемую *брешь коричневых карликов*. Она является в настоящее время основным аргументом в пользу разных механизмов образования субзвезд и планет [204]. Из рис. 5 следует, что: 1) максимум звездно-субзвездного спектра масс находится в интервале  $0.2\text{--}0.8 m_{\odot}$ ; 2) минимальные массы субзвезд следует ожидать в интервале  $0.01\text{--}0.02 m_{\odot}$ .

Идентифицированное население белых карликов вкладывает заметное, но не основное доленое содержание — 10 % от звездной массы солнечного окружения [124] — и согласуется со статистическими исследованиями ближайших звезд, проведенными Захожаем [15, 16]. Вследствие остывания светимость белых карликов существенно зависит от их возраста. Вычисленные функции светимости белых карликов [227, 228] соответствуют темпам их остывания, при которых они полностью охлаждаются за время 6—14 млрд лет.

Наиболее надежные статистические свойства ближайших звезд были получены для околосолнечной области с радиусом 10 пк [14—16, 23, 24]. Это можно объяснить самой большей полнотой звезд ( $\approx 0.7$ ) с измеренными параллаксами по отношению к ожидаемому в этой области числу звезд. При пространственной звездной плотности  $0.125 \pm 0.002$  зв/пк<sup>3</sup> в десятипарсековой околосолнечной области ожидается порядка 500 звезд. Звезды в этой области распределены равномерно по небесной сфере со средней поверхностной плотностью  $0.0127 \pm 0.0002$  зв/град<sup>2</sup>, и примерно до 5 пк околосолнечного окружения известны все звезды. В сфере вокруг Солнца с радиусом 10 пк подавляющее большинство (87 %) звезд представляет главную последовательность, на долю субкарликов приходится 2.5 %, белые карлики составляют 7.5 % [15, 16]. Гигантов, скоплений звезд и газово-пылевых образований в этой области не обнаружено. M-звезды составляют 62 %, а средняя масса звезд —  $0.43 \pm 0.07 m_{\odot}$ .

В тридцатипарсековом солнечном окружении распределение металличностей звезд изучали В. А. Захожай и Э. Ф. Шапаренко [24, 25]. На основе металличности 502 близких FGK-карликов, определенных по *UBV*-фотометрии [24], была построена плотность распределения металличностей звезд, приведенная на рис. 6. Как и следовало ожидать, не наблюдается корреляции с плотностями распределения металличностей субкарликов и звезд типа RR Лиры (рис. 6, *a*) и шаровых скоплений (рис. 6, *в*), данные о которых были взяты из источников [6, 44]. Проявившиеся расхождения в гистограммах и плотностях распределения металличностей диска (рис. 6, *б*): G-карликов, построенные по данным [44, 45] и FGK-карликов [25] могут быть вызваны разным объемом и «качеством» выборки. В работе [25] использована выборка в полтора раза больше, чем в работах [44, 45], а также более широкий диапазон спектральных классов звезд. В работе [25] также были приведены как сами гистограммы распределений металличностей, так и их плотности распределений, вычисленные с учетом селекции звезд методом Паренаго. В плотностях распределения металличностей FGK-карликов диска (рис. 6, сплошные линии) обнаружен дефицит звезд с металличностями вблизи значений  $-0.2$  и  $-0.5$ . Около 89 % звезд выборки имеют металличность  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.4 \dots +0.1$ , 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 относят к сфероидальной составляющей спиральных галактик [149]. В нашей Галактике размеры этого центрального сгущения оцениваются в 2 кпк в пределах галактической широты  $b = \pm 7.5^\circ$  и 4 кпк в пределах галактической долготы  $l = \pm 15^\circ$ , а для массы балджа приводятся значения  $(3-5) \cdot 10^{10} m_\odot$  [32]. В 1990-е гг. в Окне Бааде были обнаружены молодые звезды [105], т. е. история звездообразования там отличается от той, что приписывается эллиптическим галактикам, в которых звездообразование шло интенсивно в ранние стадии эволюции с последующим спадом после первого миллиарда лет. (В прошлом модели образования и эволюции балджа страдали сильной параллелью с эллиптическими галактиками. Такое утверждение связывалось с исследованиями, согласно которым фотометрические характеристики галактических балджей и галактик ранних типов представлялись однотипными. Делался вывод, что в балджах существуют только старые сверхбогатые металлом звездные населения [178, 221]). Распространенность железа в галактическом балдже исследовалась в работах [92, 106, 107, 108, 145, 147]. Оказалось, что максимум относительной распространенности железа приходится на  $[\text{Fe}/\text{H}] \approx 0.5$ . Аналогичный результат получен в работах [58, 76, 77] для средней металличности внешних областей спиралей галактик  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = 0.57 \pm 0.07$  на основе предположения, что все балджи галактик похожи друг на друга по цвету и металличности.

Наблюдения указывают, что балджи вращаются намного быстрее, чем яркие эллиптические галактики, откуда делается предположение, что балджи, в отличие от эллиптических галактик, поддерживаются вращением [149]. OH/IR-звезды [136] и обычные M-гиганты [66], содержащиеся в области 5—200 пк, вращаются по-разному. OH/IR-звезды имеют более низкую дисперсию скорости  $\sigma = 50-100$  км/с против  $\sigma > 100$  км/с у M-гигантов, и очень высокую скорость вращения  $V_{\text{rot}} > 100$  км/с на расстоянии 100 пк от центра Галактики против почти ничтожного вращения M-гигантов. Эти наблюдательные данные могут свидетельствовать о том, что

в балдже есть два различных звездных населения, в которых ОН/IR-звезды и М-гиганты являются соответствующими типичными представителями.

В начале нового столетия получены интересные наблюдательные данные о Центральном парсеке [163], 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 (от голубых до A5/F5, массы которых больше  $2 m_{\odot}$ ). На основе позиционных измерений порядка 1000 звезд, находящихся в центральной зоне  $10 \times 10''$  ( $0.39 \times 0.39$  пк), для шести звезд удалось вычислить эллиптические орбиты, общий фокус которых с большой вероятностью совпадает с компактным (диаметр около 1.2 а. е.) радиоисточником Sgr A\* (рис. 2, в, г). Периастры обнаруженных ближайших к центру Галактики звезд S2 и S14 оказались соответственно равными 120 и 80 а. е. Масса центральной зоны 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. Кроме того, рентгеновские и радионаблюдения продемонстрировали наличие горячего и релятивистского газа размером в 10 радиусов Шварцшильда (0.6 а. е.) в центре этой концентрированной массы. Анализ верхней оценки собственного движения Sgr A\* в системе Центра Галактики ( $< 20$  км/с) и скоростей звезд, вращающихся вокруг Sgr A\* ( $> 10^3$  км/с) позволили получить отношение масс радиоисточника Sgr A\* к области, заключенной внутри орбиты звезды S2 (0.98) и нижний предел плотности в этой области  $5 \cdot 10^{21} m_{\odot}/\text{пк}^3$  [163].

#### НЕЗВЕЗДНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ

Метод позиционной астрометрии в XX веке позволил открыть первые невидимые спутники звезд, массы которых оказались меньше предела Кумара [20]. Анализ физической природы позволил разделить их на два класса космических тел: субзвезды и планеты [1].

Наиболее достоверные данные об астрометрических невидимых водородно-гелиевых спутниках и их массах получены из анализа собственного и орбитального движений 10 астрометрически двойных звезд ближе 10 пк [230]: у Проксимы ( $0.0018 m_{\odot}$ ) [152], звезды Барнарда ( $0.0012 m_{\odot}$ ,  $0.0008 m_{\odot}$ ,  $0.0006 m_{\odot}$ ) [213]\*, двойной 61 Лебеда (у компонента А —  $0.003 m_{\odot}$  и  $0.0055 m_{\odot}$ , у компонента В —  $0.003 m_{\odot}$ ) [12, 13, 152],  $\epsilon$  Эридана ( $0.006 \dots 0.05 m_{\odot}$ ) [137, 211, 212], DM+59° 1915 ( $0.006 m_{\odot}$ ) [48], G175-34 ( $0.02 m_{\odot}$ ) [98, 101], EV Ящерицы ( $0.009 \dots 0.023 m_{\odot}$ ) [137, 212, 214], двойной звезды Крюгер 60 ( $0.01 m_{\odot}$ ) [98], G202-45 ( $0.06 \dots 0.08 m_{\odot}$ ) [49, 212].

В последнее десятилетие начали открывать субзвездную составляющую Галактики методами ИК-фотометрии и лучевых скоростей. Глубокие обзоры слабых источников от видимого (SDSS: Sloan Digital Sky Survey) до близкого ИК-диапазонов (DENIS; Deep Near Infrared Sky Survey и 2MASS: 2 Micron All Sky Survey) позволили по вычисленным эффективным темпе-

\* Гейтвуд, основываясь на своих наблюдениях на многоканальном компьютеризированном фотометре [93], считает ошибочными заключения Ван де Кампа о реальном существовании планет у звезды Барнарда.



ратурам обнаружить более 1000 субзвезд ([68, 202, 222], о чем докладывалось на конференциях [19, 22, 230, 231]): 60 % в поле Галактики и 40 % в 11 близких рассеянных скоплениях (Плеяды, Гиады, Верхний Скорпион,  $\rho$  Змееносца,  $\sigma$  Ориона, IC2391 и др.). Субзвезды проявили себя как поздние М-карлики (спектральный класс М5.5 и более) с эффективной температурой 2100...2800 К (подавляющее большинство из них находится в рассеянных скоплениях); L-карлики ( $T_{\text{эф}} = 1500...2100$  К) и 12 Т-карликов ( $T_{\text{эф}} < 1500$  К). Примерно третья часть субзвезд поля Галактики входят в кратные (от двух до четырех) системы со звездами главной последовательности и белыми карликами. Встречаются системы, исключительно состоящие из субзвезд. По данным [21, 230], компонентами семи систем являются исключительно субзвезды: в состав шести из них входят L-карлики (2M0746, 2M0920, 2M0850, DENIS 1228, 2M1146, DENIS 0205) и одной — М-карлики (PP 115). В три тройные системы входят пять субзвезд; система Gl 569 является полностью субзвездной: в нее входит два поздних М-карлика и один L-карлик; система Gl 584 состоит из двух G-карликов и L-карлика; в систему V471 Тау входят К-карлик, белый карлик и L-карлик; Т-карлик входит в четверную систему Gl 570 вместе с звездными К- и М-карликами. Анализ данных, полученных методами лучевых скоростей и позиционной астрометрии, позволил отождествить 21 субзвезду в окрестностях Солнца [21, 186].

В окрестностях Солнца была обнаружена планетная составляющая космических тел Галактики [3, 4, 23, 164, 230]. К маю 2005 г. методом лучевых скоростей было обнаружено 157 невидимых спутников с массами  $(0.042...20)m_J \cdot \sin i$  ( $i$  — наклон плоскости орбиты планеты к картинной плоскости) у 138 звезд (у 12 систем — два, у двух — три, у одной — четыре спутника) [186].

В диске Галактике обнаружено пять планет у пульсаров. Четыре планеты обнаружены у пульсара PSR B1257+12, из них вычислены массы трех:  $m_1 = 2.8 m_{\oplus}$ ,  $m_2 = 3.4 m_{\oplus}$ ,  $m_3 = 0.2 m_{\oplus}$  [223—226] (существование третьей планеты оспаривается [27]). Пятая планета обнаружена у пульсара PSR B0329+54 ( $> 2 m_{\oplus}$ ) [78, 192]. В шаровом скоплении М4 водородно-гелиевая планета или субзвезда с массой около  $5 m_J$  открыта у двойной системы пульсара PSR B1620-26 с белым карликом [164]. Заподозрено существование планет также у пульсара PSR B1828-11 [27].

Методом гравитационного микролинзирования в рамках реализации программы MACHO Беннет и др. по кривым блеска обнаружили две водородно-гелиевые планеты в системах 94-BLG-4 ( $5 m_J$ ), 95-BLG-3 ( $2 m_J$ ) [61] и планету или субзвезду с массой  $3.5 \pm 1.8 m_J$ , вращающуюся вокруг двойной звездной системы 97-BLG-41 на расстоянии 7 а. е. [62], принадлежащей балджу Галактики [164]. (Система 97-BLG-41 состоит из К- и М-карликов, расстояние между которыми 1.8 а. е. Олброу и др. [53] оспорили «планетную» интерпретацию и предложили иную, исключаящую наличие планеты). Райе и др. [177] обнаружили сильное усиление яркости объекта 98-BLG-35 в направлении на центр Галактики. Они интерпретировали это явление наличием в этой системе планеты с массой  $1 m_{\oplus}$  для массы линзы  $0.3 m_{\oplus}$ .

Из 100 событий, отслеженных группой PLANET, более 20 «ощутили» возмущения, приписываемые планетам с массами, соизмеримыми с массой Юпитера [95]. На этом основании Гауди и др. сделали выводы, что планеты с массами порядка  $1 m_J$  и  $a = 1.5—3$  а. е., а также планеты, массы которых  $3 m_J$  и  $a > 1—4$  а. е. встречаются в менее одной трети систем, что также справедливо и для планет с массами  $3 m_J$  и  $a > 1—4$  а. е. [94].

К полученным статистическим результатам следует отнести данные [54, 55], полученные по исследованию БМО в рамках проектов EROS и MACHO для оценок вклада темного вещества в гало Галактики, а также данные [52, 64, 126, 127], полученные в рамках пилотного проекта PLANET с целью обнаружения изменений блеска звезд, вызванных прохождением по их дискам планетными или кометными телами [65]. В частности, Грейди и др. отмечали наблюдения комет в системе HD 100546 [99].

Согласно классификации космических тел [20] уверенно к планетам относят объекты с массами менее  $3 m_J$ , к субзвездам — с массами более  $7 m_J$ . Объекты с промежуточными массами могут быть как планетами, так и субзвездами.

Из приведенных данных следует, что за пределами Солнечной системы известны 126 космических тел, массы которых попадают в интервал планетных масс. Известны еще 36 возможных кандидатов, которые могут оказаться планетами, их массы попадают в интервал масс  $3 < m/m_J < 7$ . Подавляющее число из них — водородно-гелиевые планеты, и только пять планет могут иметь другую природу. Анализ дает основание предполагать, что планеты в системах пульсаров могут быть: у PSR B1257+12 b — металлической, у PSR B0329+54 b и PSR B1257+12 e — ледяными или водородно-гелиевыми, у PSR B1257+12 c и PSR B1257+12 d — силикатными или металлическими.

Следует обратить внимание на интересное распределение планет в Солнечной системе. Ранее уже упоминалось [3], что с учетом того, что часть спутников планет и астероидов имеют силикатный состав с массами более  $10^{-10} m_\odot$ , в Солнечной системе можно ожидать около 30 планет (а может быть и более). Под планетами здесь понимаются маломассивные космические тела, вещество которых находится в конденсированном невырожденном состоянии, в которых возможна дифференциация вещества в процессе их эволюции [1, 20]. Нижний предел массы водородно-гелиевых планетных тел близок к  $10^{-4} m_\odot$ , силикатных —  $10^{-10} m_\odot$ , ледяных —  $10^{-11} m_\odot$ . Анализ объектов, входящих в Пояс Койпера показал [231], что ледяных космических тел с массами более  $10^{-11} m_\odot$  — порядка 100. (В Поясе Койпера ожидаются в основном ледяные тела со средней плотностью около  $1 \text{ г/см}^3$ . Это дает минимальные диаметры ледяных планет 300 км. Принимая определенную гипотезу для альбедо ледяных планет, получаем критический блеск, ярче которого объект отождествляется как «планета»). Таким образом, следует ожидать, что в Солнечной системе общее число уже известных в настоящее время планет более 100! И только две из них уверенно попадают в водородно-гелиевый класс планет: Юпитер и Сатурн.

Проведенная оценка интересна для ожидаемого числа планет в Галактике. Вычисленные вероятности числа планетных систем в Галактике дают оценки 0.2—0.4 [2, 47, 104] и примерно согласуются с долей молодых звезд поздних спектральных классов, обладающих протяженными пылевыми дисками [97, 100]. Таким образом, ожидаемое число планет в Галактике может оказаться на два порядка больше общего числа звезд.

Предметом наблюдения в галактическом диске с 1980-х гг. стали протопланетные образования у звезд [59, 164, 195, 219], а недавно такие объекты были открыты у 38 субзвезд [138].

## ВЫВОДЫ

1. Наша звездная система состоит из четырех основных подсистем: плоской, сферической, промежуточной и галактик-спутников (рис. 2, а, б). Плоская подсистема включает двухкомпонентный диск (толстый и тонкий),

имеющий, вероятнее всего, двухрукавную спиральную структуру. *Сферическая* подсистема состоит из короны, внешнего и внутреннего гало. Шаровые скопления сферической подсистемы разделяются на три отдельные группы, соответственно пространственному строению населения короны и гало. К *промежуточной* подсистеме относят балдж и центр, включающий центральное скопление звезд и, вероятнее всего, центральную черную дыру. Подсистему *галактических спутников* есть основание разделить на внутреннюю и внешнюю. Границы внутренней группы галактик совпадают с границами сферической составляющей Галактики. Внешняя подсистема, состоящая из шести галактических спутников, ограничена границами гравитационного действия системы Галактики.

2. Галактика и, не исключено, ее система в целом являются открытыми. Имеются прямые доказательства о взаимодействии в прошлом и в настоящее время с газовой средой и карликовыми галактиками:

а) есть наблюдательные данные, свидетельствующие о наличии межгалактического резервуара газа. (Не известно, внешняя граница ограничена нашей системой Галактики, или Местной группой галактик. Отмечается, что опускающиеся на диск Галактики газовые облака в среднем более чем на порядок содержат меньше тяжелых элементов, чем Солнце [9, 186]);

б) наблюдаются взаимодействия между подсистемами Галактики (в виде обмена газом между диском и гало — галактического фонтана — и оседании газа в диск на всем протяжении существования диска [87, 89, 112, 146, 149, 160, 161, 184, 201], т. е. отмечаются взаимодействия «гало — диск — гало — межгалактический газ — гало») с дальнейшим иницированием звездообразования. Имеются прямые наблюдательные подтверждения иницирования звездообразования из-за аккреции в комплексах Ориона, пояса Гулда, рассеянного скопления  $\zeta$  Скульптора [70, 81, 126, 141];

в) обнаружены «следы» взаимодействия Галактики с другими галактиками в прошлом [6] и в настоящее время [116, 142, 151, 154, 189, 208].

3. Звездная составляющая вносит основной вклад по массе. Доля звездных остатков — на порядок меньше. Ожидаемое доленое содержание субзвезд, по массе, не превосходит 40 % от вклада звезд.

По числу объектов, звездная и субзвездная составляющие могут быть сравнимы, а число планет может быть на два порядка больше общего количества звезд в Галактике.

1. Александров Ю. В., Захожай В. А. Что такое планеты // Астрон. вестн.—1980.—14, № 3.—С. 129—132.
2. Александров Ю. В., Захожай В. А. К вопросу о возможном числе планетных систем в Галактике // Астрон. вестн.—1983.—17, № 2.—С. 82—86.
3. Александров Ю. В., Захожай В. А. Проблемы внесолнечных планет в Галактике // Астрон. вестн.—1983.—17, № 3.—С. 131—144.
4. Александров Ю. В., Захожай В. А. Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска // Проблемы поиска жизни во Вселенной. — М.: Наука, 1986.—С. 201—210.
5. Бааде В. Эволюция звезд и галактик: Пер. с англ. — М.: Мир, 1966.—300 с.
6. Боркова Т. В., Марсаков В. А. Подсистемы шаровых скоплений Галактики // Астрон. журн.—2000.—77, № 10.—С. 750—771.
7. Бочкарев Н. Г. Межзвездная среда // Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1986.—С. 386—387.
8. Бочкарев Н. Г. Межзвездный газ // Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1986.—С. 389—396.
9. Ваккер Б., Рихтер Ф. Высокоскоростные облака // В мире науки.—2004.—Апрель.—С. 22—29.
10. Верещагин С. В., Чупина Н. В. Спектр масс околосолянных окрестностей и звездное скопление UMa // Астрон. журн.—1994.—71, № 1.—С. 72—77.
11. Воицинников Н. В. Межзвездная пыль // Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. —

- М.: Сов. энцикл., 1986.—С. 384—386.
12. *Дейч А. Н.* Новые данные о невидимых спутниках звезды 61 Лебеда // Письма в Астрон. журн.—1978.—4, № 2.—С. 95—98.
  13. *Дейч А. Н., Орлова О. Н.* О невидимых спутниках двойной звезды 61 Лебеда // Астрон. журн.—1977.—54, вып. 2.—С. 327—339.
  14. *Захожай В. А.* Функция светимости и пространственная плотность ближайших звезд // Астрометрия и астрофизика.—1980.—Вып. 42.—С. 64—69.
  15. *Захожай В. А.* Статистические свойства ближайших звезд: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Л.: ГАО АН СССР, 1987.—206 с.—Машинопись.
  16. *Захожай В. А.* Статистические свойства звезд и кратных систем в области 10 пк // Астрономо-геодезические исследования: Близкие двойные и кратные звезды. — Свердловск: УрГУ, 1990.—С. 44—54.
  17. *Захожай В. А.* Функция масс звезд Галактики // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 2.—С. 153—168.
  18. *Захожай В. А.* Роль субзвезд в эволюции Галактики // Вісник астрон. школи—2001.—2, № 1.—С. 34—44.
  19. *Захожай В. А.* Необходимые и имеющиеся астрометрические средства для поиска ближайших субзвезд // Extension and Connection of Reference Frames using CCD ground-based Technique. Abstracts., 10—13 October 2001 Nikolaev, Ukraine. — Nikolaev, 2001.—Р. 8.
  20. *Захожай В. А.* Космические тела Галактики: классификация и эволюция // Вісник астрон. школи—2002.—3, № 2.—С. 81—99.
  21. *Захожай В. А., Писаренко А. И.* Современные возможности и перспективы поиска субзвезд в Галактике // Сб. тр. «Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям». — Киев, 2001.—С. 66—70.
  22. *Захожай В. А., Писаренко А. И., Яценко А. А.* Результаты численного моделирования внутреннего строения субзвезд // Тр. ГАИШ.—2004.—75.—С. 152.—(Всероссийская астрон. конф. ВАК-2004 «Горизонты Вселенной». Тез. докл.).
  23. *Захожай В. А., Рузмайкина Т. В.* Звезды для поиска планетных систем // Астрон. вестн.—1986.—20, № 2.—С. 128—133.
  24. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф.* Металличности близких звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 2.—С. 20—29.
  25. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф.* Функция распределения металличности близких звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—13, № 6.—С. 63—66.
  26. *Кран-Кортевег Р. С., Лейгев О.* Галактики за Молочным Шляхом // Світ Науки.—2001.—№ 1 (7).—С. 44—51.
  27. *Ксанфомалити Л. Н.* Внесолнечные планетные системы // Астрон. вестн.—2000.—34, № 6.—С. 529—544.
  28. *Кукаркин Б. В.* Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд. — М.: Гостехиздат, 1949.—191 с.
  29. *Куликовский П. Г.* Звездная астрономия: 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1985.—272 с.
  30. *Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии / Под ред. В. Г. Сурдина. — М.: Эдиториал, УРРС, 2002.—688 с.
  31. *Марочник Л. С., Мухин Л. М.* Галактический «пояс жизни». — М., 1983.—16 с.—(Препринт / АН СССР. Ин-т космических исследований; Пр-761).
  32. *Марочник Л. С., Сучков А. А.* Галактика. — М.: Наука, 1984.—392 с.
  33. *Никифоров И. И.* Моделирование закона вращения плоской подсистемы и определение расстояния до центра Галактики: реалистичность модели и оптимизация ее сложности // Астрофизика.—1999.—42, вып. 3.—С. 399—406.
  34. *Никифоров И. И.* Моделирование закона вращения плоской подсистемы и определение расстояния до центра Галактики: анализ данных о газовых комплексах // Астрон. журн.—1999.—76, № 6.—С. 403—418.
  35. *Никифоров И. И.* Пространственно-кинематическое и динамическое моделирование Галактики: Автореф. ... дис. канд. физ.-мат. наук. — С.-Пб., 2003.—22 с.
  36. *Никифоров И. И., Петровская И. В.* Расстояние от Солнца до центра Галактики и кривая вращения по данным о кинематике нейтрального и ионизированного водорода // Астрон. журн.—1994.—71, № 5.—С. 725—736.
  37. *Павловская Е. Л., Сучков А. А.* Исследование точности оценок параметров спиральной структуры Галактики методом численных экспериментов // Астрон. журн.—1980.—57, № 2.—С. 280—286.
  38. *Псковский Ю. П.* Соседи нашей Галактики. — М.: Знание, 1983.—64 с.
  39. *Псковский Ю. П.* Галактики // Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1986.—С. 76—89.
  40. *Рольфс К.* Лекции по теории волн плотности: Пер. с англ. — М.: Мир, 1980.—208 с.

41. *Скало Д. М.* Спектр звездных масс // Протозвезды и планеты / Под ред. Т. Герелса. — М.: Мир, 1982.—Ч. 1.—С. 295—320.
42. *Сурдин В. Г.* Двойные шаровые скопления // Астрономо-геодезич. исследования: Динамические и физические характеристики небесных тел. — Свердловск: УрГУ, 1988.—С. 36—40.
43. *Сурдин В. Г., Чариков А. В.* Влияние динамического трения на движение шаровых скоплений в Галактике // Астрон. журн.—1977.—54, вып. 1.—С. 24—27.
44. *Сучков А. А.* Галактики знакомые и загадочные. — М.: Наука, 1978.—192 с.
45. *Сучков А. А.* Галактика // Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1986.—С. 62—75.
46. *Тейлер Р. Дж.* Галактики: Строение и эволюция: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981.—224 с.
47. *Тутуков А. В.* Образование планетных систем и коричневых карликов около одиночных звезд // Астрон. журн.—2002.—79, № 8.—С. 762—767.
48. *Шахт Н. А.* Фотографические наблюдения звезды ADS 11632 с возможным невидимым спутником // Письма в Астрон. журн.—1984.—10, № 10.—С. 765—770.
49. *Шахт Н. А.* Астрометрическое исследование избранных звезд с предполагаемыми невидимыми спутниками по наблюдениям в Пулковке: Автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук / ИПА РАН. — С.-Пб., 2002.—32 с.
50. *Шелли Х.* Галактики: Пер. с англ. — М., Л.: ОГИЗ, ГИТТЛ, 1947.—226 с.
51. *Abadi M., Navarro J., Steinmetz M., Eke V.* Simulations of galaxy formation in a lambda cold dark matter universe. I. Dynamical and photometric properties of a simulated disk galaxy // *Astrophys. J.*—2003.—597, N 1.—P. 21—34.
52. *Albrow M. D., Beaulieu J. P., Birch P., et al.* The 1995 pilot campaign of PLANET: Searching for microlensing anomalies through precise, rapid, round-the-clock monitoring // *Astrophys. J.*—1998.—509.—P. 687—702.
53. *Albrow M. D., Beaulieu J. P., Caldwell J. A. R., et al.* Detection of rotation in a binary microlens: PLANET photometry of MACHO 97-BLG-41 // *Astrophys. J.*—2000.—534.—P. 894—906.
54. *Alcock C., Allsman R. A., Alves D., et al.* The MACHO project LMC microlensing results from the first two years and the nature of the galactic dark halo // *Astrophys. J.*—1997.—486.—P. 697—726.
55. *Alcock C., Allsman R. A., Alves D., et al.* EROS and MACHO combined limits on planetary mass dark matter in the Galactic halo // *Astrophys. J.*—1998.—499.—P. L9—L12.
56. *Baade W.* The resolution of Messier 32, NGC 205, and the central region of the Andromeda nebula // *Astrophys. J.*—1944.—100.—P. 137.
57. *Baade W.* Galaxies and their stellar populations // *Stellar population.* — Vatican observ., 1958.—P. 3—21.
58. *Balcells M., Peletier R. F.* Stellar populations and population gradients in spiral bulges // *Astron. J.*—1994.—107, N 1.—P. 135—152.
59. *Beckwith S. V. W., Sargent A. I.* Circumstellar disks and the search for neighboring planetary system // *Nature.*—1996.—383, N 6596.—P. 139—144.
60. *Beers T. M., Sommer-Larsen J.* Kinematics of metal-poor stars in the Galaxy // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1995.—96, N 1.—P. 175—221.
61. *Bennett D. P., Alcock C., Allsman R. A., et al.* Planetary microlensing from the MACHO project // *ASP Conf. Ser.*—1997.—119.—P. 95—99.—(Planets Beyond the Solar System and the Next Generation of Space Missions / Ed. D. R. Soderblom).
62. *Bennett D. P., Rhie S. H., Becker A. C., et al.* Gravitational microlensing evidence for a planet orbiting a binary star system // *Nature.*—1999.—402.—P. 57—59.
63. *Bessel M. S., Stringfellow G. S.* The faint end of the stellar luminosity function // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1993.—31.—P. 433—471.
64. *Beust H., Lagrange A. M., Crwaford I. A., et al.* The fi Pictoris circumstellardisk. XXV. The Ca II absorption lines and the falling evaporating bodies model revisited using UHRF observations // *Astron. and Astrophys.*—1998.—338.—P. 1015—1030.
65. *Beust H., Vidal-Madjar A., Ferlet R., Lagrange-Henri A. M.* Cometary-like bodies in the protoplanetary disk around fi Pictoris // *Astrophys. Space Sci.*—1994.—212.—P. 147—157.
66. *Blum R. D.* Figure rotation and mass of the Galactic bulge // *Astrophys. J.*—1995.—444, N 2.—P. L89—L91.
67. *Bullock J. S., Kravtsov A. V., Weinberg D. H.* Hierarchical galaxy formation and substructure in the galaxy's stellar halo // *Astrophys. J.*—2001.—548.—P. 33—46.
68. *Burgasser A. J., et al.* Discovery of four field methane (T-type) dwarfs with the Two Micron All-Sky Survey // *Astrophys. J.*—1999.—522, N 1.—P. L65—68.
69. *Carney B. W., Latham D. W., Laird J. B.* A survey of proper-motion star. X. The early evolution of the Galaxy's halo // *Astron. J.*—1990.—99, N 1609.—P. 572—589.
70. *Chiba M., Beers T.* Kinematics of metal-poor stars in the Galaxy. III. Formation of the stellar halo and thick disk as revealed from a large sample of nonkinematically selected stars // *Astron. J.*—2000.—119, N 1734.—P. 2843—2865.

71. *Collins J. A., Shull J. M., Giroux M.* A survey of ultraviolet spectroscopic explorer and Hubble Space Telescope sight lines through high-velocity cloud Complex C // *Astrophys. J.*—2003.—585, N 1.—P. 336—354.
72. *Comeron F., Torra J.* The origin of the Gould Belt by the impact of a high velocity cloud on the galactic disk // *Astron. and Astrophys.*—1994.—281.—P. 35—45.
73. *Cox D. P., Smith B. W.* Large-scale effects of supernova remnants on the Galaxy: generation and maintenance of a hot network of tunnels // *Astrophys. J.*—1974.—189, N 2.—P. L105—L108.
74. *Dame T. M.* The distribution of neutral gas in the Milky Way // *AIP Conf. Proc.*—1993.—278.—P. 267—278.—(Back to the Galaxy / Eds S. Holt, F. Verter).
75. *De Boer K. S., Savage B. D.* Inflow of halo gas from the direction of the galactic North Pole // *Astron. and Astrophys.*—1984.—136, N 1.—P. L7—L8.
76. *De Jong R. S.* Near-infrared and optical broadband surface photometry of 86 face-on disk dominated galaxies. II. A two-dimensional method to determine bulge and disk parameters // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1996.—118.—P. 557—573.
77. *De Jong R. S.* Near-infrared and optical broadband surface photometry of 86 face-on disk dominated galaxies. III. The statistics of the disc and bulge parameters // *Astron. and Astrophys.*—1996.—313.—P. 45—64.
78. *Demianski M., Proszynski M.* Does PSR 0329+54 have companions? // *Nature.*—1979.—282, N 5737.—P. 383—385.
79. *De Vaucouleurs G.* Quantitative classification of the Galaxy from new data on the photometric properties of its spheroidal and disk components // *Symp. IAU N 84: The large-scale characteristics of the Galaxy.*—1979.—P. 203—209.
80. *Diplas A., Savage B. D.* Neutral hydrogen in the outer galaxy // *Astrophys. J.*—1991.—377, N 1.—P. 126—140.
81. *Dopita M. A.* Self-regulating star formation and disk structure // *Nearly normal galaxies from the Planck time to present / Ed. Faber S. M. — New York: Springer, 1987.*—P. 144—153.
82. *Edvardsson B., Anderse J., Gustafsson B., et al.* The chemical evolution of galactic disk // *Astron. and Astrophys.*—1993.—275, N 1.—P. 101—152.
83. *Edvardsson B., Petterson B., Kharrazi M., Westerlund B.* Abundance analysis and origin of  $\zeta$  Sculpturis open cluster // *Astron. and Astrophys.*—1995.—293, N 1.—P. 75—86.
84. *Einasto J.* Galactic mass modeling // *Symp. IAU N 84: The large-scale characteristics of the Galaxy.*—1979.—P. 451—460.
85. *Einasto J., Joeveer M., Kaasik A.* The mass of the Galaxy // *Tartu Astron. Obs. Teated.*—1976.—54.—P. 3—75.
86. *Einasto J., Kaasik A., Saar E.* Dynamic evidence on massive coronas of galaxies // *Nature.*—1974.—250, N 5464.—P. 309—310.
87. *Feast M. W.* Galactic distance scales // *The Galaxy. Proc. of NATO Advanced Study Institute, held at Cambridge, UK, 4-15 August 1986 / Eds G. Gilmore, B. Carswell. — Dordrecht: Reidel, 1987.*—P. 1—25.
88. *Ferguson A., Irwin M., Ibata R., et al.* Evidence for stellar substructure in the halo and outer disk of M31 // *Astron. J.*—2002.—124, N 3.—P. 1452—1463.
89. *Ferrini F., Matteucci F., Pardi C., Penco U.* Evolution of spiral galaxies. I. Halo-disk connection for the evolution of the solar neighborhood // *Astrophys. J.*—1992.—387, N 1.—P. 138—151.
90. *Freeman K. C.* Observational properties of disks // *Conf. on Dynamics of Disc Galaxies / Ed. B. Sundelius. — Goteborg: Goteborgs Univ., 1991.*—P. 15—28.
91. *Fritze-v. Alvensleben U., Kruger H., Fricke K. J.* QSO absorption lines and the evolution of galaxies // *Astron. and Astrophys.*—1991.—246, N 1.—P. L59—L62.
92. *Frogel J. A., Tiede G. P., Kuchinski L. E.* The metallicity and reddening of stars in the inner Galactic bulge // *Astron. J.*—1999.—117, N 5.—P. 2296—2307.
93. *Gatewood G., Eichhorn H.* An unsuccessful search for a planetary companion of Barnard's star (BD+4°3561) // *Astron. J.*—1973.—78, N 1413.—P. 769—776.
94. *Gaudi B. S., Albrow M. D., An J. H., et al.* Microlensing Constraints on the Frequency of Jupiter Mass Planets // *Microlensing 2000: A New Era of Microlensing / Eds J. W. Menzies, P. D. Sackett. — San Francisco, 2001.*—P. 135.—(Surveys ASP Conf. Ser.).
95. *Gaudi B. S., Sackett P. D.* Detection Efficiencies of Microlensing Datasets to Stellar and Planetary Companions // *Astrophys. J.*—2000.—528.—P. 56—73.
96. *Gilmore G.* The distribution of stars in space // *19. Advanced Course of the Swiss Society of Astrophysics and Astronomy: «The Milky Way as a Galaxy» / Ed. R. Buser, I. King. — Geneva Observatory, 1989.*—P. 9—40.
97. *Gimenes A.* Ubv photometry of stars with planets // *Astron. and Astrophys.*—2000.—356.—P. 213—217.
98. *Gliese W.* Catalogue of nearby stars. — Karlsruhe: Braun, 1969.—118 p.
99. *Grady C. A., Sitko M. L., Bjorkman K. S., et al.* The star-grazing extrasolar comets in the HD 100546 System // *Astrophys. J.*—1997.—483.—P. 449—456.

100. *Haisch K. E., Lada E. A., Lada C. J.* Circumstellar disks in the IC 348 cluster // *Astron. J.*—2001.—**121**, N 4.—P. 2065—2074.
101. *Harrington R. S., Dahn C. C.* Summary of U.S. Naval Observatory parallaxes // *Astron. J.*—1980.—**85**, N 4.—P. 454—465.
102. *Harris W. E.* A catalog of parameters for globular clusters in the Milky Way // *Astron. J.*—1996.—**112**, N 1690.—P. 1487—1488.
103. *Henry T. J., McCarthy D. W.* A systematic search for brown dwarfs orbiting nearby stars // *Astrophys. J.*—1990.—**350**, N 1.—P. 334—347.
104. *Hohlfeld R. G., Terzian Y.* Multiple stars and number of habitable planets in the Galaxy // *Icarus.*—1977.—**30**.—P. 598—600.
105. *Holtzmann J. A., Light R. M., Baum W. A., et al.* Wide field camera observations of Baade's window // *Astron. J.*—1993.— **106**, N 1654.—P. 1826—1836.
106. *Houdashelt M.* The cool stellar populations of early-type galaxies and the galactic bulge // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*—1996.—**108**.—P. 828.
107. *Ibata R. A., Gilmore G. F.* The outer region of the Galactic bulge.—I. Observations // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1995.—**275**, N 3.—P. 591—604.
108. *Ibata R. A., Gilmore G. F.* The outer region of the Galactic bulge.—II. Analysis // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1995.—**275**, N 3.—P. 605—627.
109. *Ibata R. A., Gilmore G., Irwin M.* A dwarf satellite galaxy in Sagittarius // *Nature.*—1994.—**370**.—P. 194—196.
110. *Ibata R., Irwin M. J., Lewis G. F., et al.* One ring to encompass them all: a giant stellar structure that surrounds the Galaxy // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2003.—**340**, N 3.—P. L21—L27.
111. *Ibata R., Irwin M., Lewis G. F., Stolte A.* Galactic halo substructure in the sloan digital sky survey: The ancient tidal stream from the Sagittarius dwarf galaxy // *Astrophys. J.*—2001.—**547**, N 2.—P. L133—L136.
112. *Ibata R., Lewis G. F., Irwin M. J., et al.* Great circle tidal streams: evidence for a nearly spherical massive dark halo around the Milky Way // *Astrophys. J.*—2001.—**551**, N 1.—P. 294—311.
113. *Ibata R., Lewis G., Irwin M., Cambresy L.* Substructure of the outer Galactic halo from the 2-Micron All-Sky Survey // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2002.—**332**, N 4.—P. 921—927.
114. *Ivezic Z., Goldston J., Finlator K., et al.* Candidate RR Lyrae stars found in sloan digital sky survey commissioning data // *Astron. J.*—2000.—**120**, N 2.—P. 963—977.
115. *Janes K. A.* Evidence for abundance gradient in the galactic disk // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1979.—**39**.—P. 135—156.
116. *Janes K. A., Phelps R. L.* The galactic system of old star clusters: the development of the galactic disk // *Astron. J.*—1994.—**108**.—P. 1773—1785.
117. *Kapteyn J.* First attempt at a theory of the arrangement and motion of the sidereal system // *Astrophys. J.*—1922.—**55**.—P. 302—328.
118. *Kapteyn J. C., Weersma H. A.* On the derivation of constants for the two star-streams // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1912.—**72**, N 9.—P. 743—756.
119. *Kent S. M.* Galactic structure from the Spacelab infrared telescope. III. A dynamical model for the Milky Way bulge // *Astrophys. J.*—1992.—**387**, N 1.—P. 181—188.
120. *Kerr F. J., Lynden-Bell D.* Review of galactic constants // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1986.—**221**, N 4.—P. 1023—1038.
121. *Kinman T. D., Suntzeff N. B., Kraft R. P.* The structure of the Galactic halo outside the Solar circle as traced by blue horizontal branch stars // *Astron. J.*—1994.—**108**, N 1667.—P. 1722—1772.
122. *Kirkpatrick J. D., Reid I. N., Liebert J., et al.* 67 Additional L dwarfs discovered by the Two Micron All Sky Survey // *Astron. J.*—2000.—**120**, N 1.—P. 447—472.
123. *Kroupa P., Tout C. A., Gilmore G.* The distribution of low-mass stars in the Galactic disk // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1993.—**262**.—P. 545—587.
124. *Kuijken K.* Dark matter in the Milky Way // *Stellar Populations* / Eds P. C. van der Kruit, G. Gilmore. — IAU. Printed in the Netherlands.—1995.—P. 195—204.
125. *Kulkarni S., Heiles C.* The atomic component // *Interstellar Processes. Proc. Symp., Grand Teton Nat.Park, WY, Jyly 1—7, 1986* / Eds D. Hollenbach, H. Thronson. — Kluwer, 1987.—P. 87—122.
126. *Lecavelier des Etangs A., Scholl H., Roques F., et al.* Perturbations of a planet on the  $\epsilon$  Pictoris Circumstellar Disk // *Icarus.*—1996.—**123**.—P. 168—179.
127. *Lecavelier des Etangs A., Vidal-Madjar A., Burki G., et al.*  $\epsilon$  Pic light variations: I The planetary hypothesis // *Astron. and Astrophys.*—1997.—**328**.—P. 311—320.
128. *Lacey C. G.* The disk heating problem // *Conference on Dynamics of Disc Galaxies* / Ed. B. Sundelius. — Göteborg: Göteborgs Univ., 1991.—P. 257—278.
129. *Lacey C. G., Fall M.* Chemical evolution of the galactic disk with radial gas flow // *Astrophys. J.*—1986.—**290**, N 1.—P. 154—170.
130. *Lepine J. R. D., Duvert G.* Star formation by infall of high velocity clouds on the galactic disk

- // *Astron. and Astrophys.*—1994.—286, N 1.—P. 60—71.
131. *Lewis J., Freeman K.* Kinematics and chemical properties of the old disk of the Galaxy // *Astron. J.*—1989.—97, N 1596.—P. 139—162.
132. *Lin C. C.* Theory of Spiral Structure // *Galactic Astronomy* / Eds H. Y. Chiu, A. Muriel. — Gordon and Breach.—1970.—2.—P. 1—93.
133. *Lin C. C., Shu F. H.* On the spiral structure of disk galaxies // *Astrophys. J.*—1964.—140, N 2—P. 646—655.
134. *Lin C. C., Shu F.-S.* Density wave theory of spiral structure // *Astrophysics and General relativity. Brandies Univ. Summer Inst. For Theor. Phys. 1968* / Eds M. Chretien, S. Deser, J. — Goldstein: Gordon and Breach, 1971.—Vol. 2.—P. 235—329.
135. *Lin C. C., Yuan C., Shu F. H.* On the spiral structure of disk galaxies. III. Comparison with observations // *Astrophys. J.*—1969.—155, N 3.—P. 721—746 (with a correction in vol. 156, P. 797).
136. *Lindqvist M., Habing H. J., Winnberg A.* OH/IR stars close to the galactic centre. II. Their spatial and kinematic properties and the mass distribution within 5-100 pc from the galactic centre // *Astron. and Astrophys.*—1992.—259, N 1.—P. 118—127.
137. *Lippincott S. L.* The possibility for visual detection of astrometric binaries with special astrophysical interest // *Colloque Astronomique Europeen, Coimbra (Portugal)*.—October, Pino Torinese.—1974.—P. 131—138.
138. *Liu M. C., Najita J., Tokunaga A. T.* A Survey for circumstellar disks around young substellar objects // *Astrophys. J.*—2003.—585.—P. L372—L391.
139. *Majewski S. R., Osthimer J. C., Patterson R. J., et al.* Exploring halo substructure with giant stars. II Mapping the extended structure of the Carina dwarf spheroidal galaxy // *Astron. J.*—2000.—119.—P. 760—776.
140. *Marochnik L. S.* On the origin of the solar system and the exceptional position of the Sun in the Galaxy // *Astrophys. Space Sci.*—1983.—89, N 1.—P. 61—75.
141. *Marochnik L. S., Mishurov Yu. N., Suchkov A. A.* On the spiral structure of our Galaxy // *Astrophys. Space Sci.*—1972.—19.—P. 285—292.
142. *Martin N. F., Ibata R. A., Bellazzini M., et al.* A dwarf galaxy remnant in Canis Major: the fossil of an in-plane accretion onto the Milky Way // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2004.—348, N 1.—P. 12—23.
143. *Matteucci Fr.* The Chemical evolution of Galaxy disks // *Galaxy disks and disk galaxies: Proc. conf., Rome, Italy, June 12—16, 2000.* — San Francisco: Astron. Soc. Pacif., 2001.—P. 337—344.
144. *Matteucci Fr.* Chemical evolution of galaxies and intracluster medium // *Cosmochemistry. The melting pot of the elements. XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics, Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain, November 19—30, 2001* / Eds C. Esteban, R. J. Garcia Lypez, A. Herrero, F. Sanchez. — Cambridge, UK: Univ. press, 2004.—P. 217—256.
145. *McWilliam A., Rich R. M.* The first detailed abundance analysis of Galactic bulge K giants in Baade's window // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1994.—91, N 2.—P. 749—791.
146. *Meyer D. M., Jura M., Hawkins I., Cardelli J. A.* The abundance of interstellar oxygen toward Orion: evidence for recent infall? // *Astrophys. J.*—1994.—437, N 1.—P. L59—L61.
147. *Minniti D., Olszewski E. W., Liebert J., et al.* The metallicity gradient of the Galactic bulge // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1995.—277, N 4.—P. 1293—1311.
148. *Mirabel I. F., Morras R.* Evidence for high-velocity inflow of neutral hydrogen toward the Galaxy // *Astrophys. J.*—1984.—279, N 1.—P. 86—92.
149. *Molla M., Ferrini F., Gozzi G.* Galactic bulges // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2000.—316, N 2.—P. 345—356.
150. *Morrison H. L., Flynn C., Freeman K. C.* Where does the disk stop and the halo begin? Kinematics in a rotation field // *Astron. J.*—1990.—100, N 1617.—P. 1191—1222.
151. *Morrison H. L., Harding P.* The Galactic bulge and halo // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*—1993.—105, N 691.—P. 977—982.
152. *Niedzielski A.* Jak znaleźć planete poza Układem Słonecznym? cz. II // *Urania*.—2001.—4.—P. 156—162.
153. *Nissen P. E., Schuster W. J.* Uvby-v photometry of high-velocity and metal-poor stars. V. Distances, kinematics and ages of halo and disk stars // *Astron. and Astrophys.*—1991.—251, N 2.—P. 457—468.
154. *Norris J. E.* Population studies. XII. The duality of the Galactic halo // *Astrophys. J.*—1994.—431, N 2.—P. 645—657.
155. *Norris J. E., Bessell M. S., Pickles A. J.* Population studies. I. The Bidelman-MacConnell “weak-metal” stars // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1985.—58, N 3.—P. 463—492.
156. *Ojha D. K., Bienayme O., Robin A. C., Mohan V.* A new UBV and proper motion survey in the anticentre direction at intermediate galactic latitude: kinematics of the Galaxy's stellar populations // *Astron. and Astrophys.*—1994.—284, N 3.—P. 810—826.
157. *Ojha D. K., Bienayme O., Robin A. C., Mohan V.* A multicolor survey of absolute proper motion:



- galactic structure and kinematics in the direction of the galactic center at intermediate latitude // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**290**, N 3.—P. 771—784.
158. *Ojha D. K., Bienayme O., Robin A. C., et al.* Structure and kinematical properties of the Galaxy at intermediate galactic latitudes // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**311**.—P. 456—469.
159. *Oort J. H.* Infall of gas from intergalactic space // *Nature*.—1969.—**224**.—P. 1158—1163.
160. *Ortiz R., Lepine J. R. D.* A model of the Galaxy for predicting star counts in the infrared // *Astron. and Astrophys.*—1993.—**279**, N 1—P. 90—106.
161. *Ostriker J. P., Peebles P. J. E.* A numerical study of the stability of flattened galaxies: or, can cold galaxies survive? // *Astrophys. J.*—1973.—**186**.—P. 467—486.
162. *Ostriker J. P., Peebles P. J. E., Yahil A.* The size and mass of galaxies, and the mass of the universe // *Astrophys. J. Lett.*—1974.—**193**, N 1—P. L1—L4.
163. *Ott T., Schodel R., Genzel R., Eckart A., et al.* Inward bound: Studying the Galactic centre with NAOC/CONICA // *The Messenger ESO*.—2003.—N 111.—P. 1—8.
164. *Perryman M. A. C.* Extra-solar planets, review article // *Preprint Rep. Prog. Phys.*—2000.—31 May.—P. 1—60.
165. *Pfenniger D., Combes F.* Is dark matter in spiral galaxies cold gas? II. Fractal models and star non-formation // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**285**, N 1.—P. 94—118.
166. *Pfenniger D., Combes F., Martinet L.* Is dark matter in spiral galaxies cold gas? I. Observational constraints and dynamical clues about galaxy evolution // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**285**, N 1.—P. 79—93.
167. *Pilyugin L. S., Edmunds M. G.* Chemical evolution of the Milky Way galaxy. I. On the infal model of galactic chemical evolution // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**313**.—P. 783—791.
168. *Pilyugin L. S., Edmunds M. G.* Chemical evolution of the Milky Way galaxy. II. On the origin of scatter in the age-metallicity relation // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**313**.—P. 792—802.
169. *Pilyugin L. S.* Chemical evolution of the Milky Way Galaxy. III. Is the disk formed through mergers of fragments? // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**313**.—P. 803—809.
170. *Prantzos N., Aubert O.* On the chemical evolution of the galactic disk // *Astron. and Astrophys.*—1995.—**302**.—P. 69—85.
171. *Rana N.* Chemical evolution of the Galaxy // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1991.—**29**.—P. 129—162.
172. *Reid I. N.* The HR diagram and the Galactic distance scale after Hipparcos // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1999.—**37**.—P. 191—237.
173. *Reid I. N., Gizis J. E.* Low-mass binaries and the stellar luminosity function // *Astron. J.*—1997.—**113**, N 6.—P. 2246—2259.
174. *Reid M. J.* The distance to the galactic center:  $R_0$  // *IAU Symp. N 136: The Center of the Galaxy* / Ed. M. Morris. — Dordrecht, 1989.—P. 37—46.
175. *Reid M. J.* The distance to the center of the Galaxy // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1993.—**31**.—P. 345—372.
176. *Reylé C., Robin A.* Early galaxy evolution from deep wide field star counts. II. First estimate of the thick disk mass function // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**373**, N 3.—P. 886—894.
177. *Rhie S. H., Bennett D. P., Fragile P. C., et al.* A Report from microlensing planet search collaboration: A possible Earth mass planetary system found in MACHO-98-BLG-35? // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1998.—**30**, N 4.—P. 1415.
178. *Rich R. M.* Spectroscopy and abundances of 88 K giants in Baade's window // *Astron. J.*—1988.—**95**, N 3.—P. 828—865.
179. *Richter P., Wakker B. P., Savage B. D., et al.* A Far ultraviolet spectroscopic explorer survey of molecular hydrogen in intermediate-velocity clouds in the Milky Way halo // *Astrophys. J.*—2003.—**586**, N 1.—P. 230—248.
180. *Robin A., Crézé M., Mohan V.* The radial structure of the galactic disk // *Astron. and Astrophys.*—1992.—**265**, N 1—P. 32—39.
181. *Robin A. C., Haywood M., Creze M., et al.* The thick disc of the Galaxy: sequel of a merging event // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**305**, N 1.—P. 125—134.
182. *Rohlf K.* Die Dichtewellentheorie der Spiralstruktur. Erfolge und offene Probleme // *Mitt. Astron. Ges.*—1978.—**43**.—P. 48—69.
183. *Ryan S. G., Norris J.* Subdwarf studies. II. Abundances and kinematics from medium resolution spectra // *Astron. J.*—1991.—**101**, N 1624.—P. 1835—864.
184. *Salpeter E. E.* The luminosity function and stellar evolution // *Astrophys. J.*—1955.—**121**.—P. 161—167.
185. *Sandage A. R., Fouts G.* New subdwarfs. VI. Kinematics of 1125 high-proper-motion stars and the collapse of the Galaxy // *Astron. J.*—1987.—**93**, N 1572.—P. 74—115.
186. *Schneider J.* Extra-solar planets catalog // <http://www.obspm.fr/planets>.—28 May 2005.
187. *Schwarz U. J., Wakker B. P., van Woerden H.* Distance and metallicity limits of high-velocity clouds // *Astron. and Astrophys.*—1995.—**302**, N 2.—P. 364—381.
188. *Scoville N., Sanders D.* H<sub>2</sub> in the Galaxy // «*Interstellar Processes*». Proc. Symp., Grand Teton

- Nac. Park, WY, July 1–7, 1986 / Eds H. Thronson, D. Hollenbach. — Kluwer, 1987.—P. 21—50.
189. *Searle L., Zinn R.* Compositions of halo clusters and the formation of the Galactic halo // *Astrophys. J.*—1978.—225, N 2.—P. 357—379.
  190. *Sembach K. R., Wakker B. P., Savage B. D., et al.* Highly ionized high-velocity gas in the vicinity of the Galaxy // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2003.—146, N 1.—P. 165—208.
  191. *Sembach K. R., Wakker B. P., Tripp T. M., et al.* The deuterium-to-hydrogen ratio in a low-metallicity cloud falling onto the Milky Way // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2004.—150, N 2.—P. 387—415.
  192. *Shabanova T.* Evidence for a planet around the pulsar PSR B0329+54 // *Astrophys. J.*—1995.—453, N 2.—P. 779—782.
  193. *Shapley H.* Studies based on the colors and magnitudes in stellar clusters. VI. On the determination of the distances of globular clusters // *Astrophys. J.*—1918.—48, N 1.—P. 89—124.
  194. *Shapley H.* Stellar clusters // *Handbuch der Astrophysik.* — Berlin: Springer, 1933.—Vol. 5. Das Sternsystem; Part 1.—P. 698.
  195. *Smith B. A., Terrielle R. J.* A circumstellar disk around  $\beta$  Pictoris // *Science.*—1984.—226, N 4681.—P. 1421—1424.
  196. *Soubiran C.* Kinematics of the Galaxy's stellar populations from a proper motion survey // *Astron. and Astrophys.*—1993.—274, N 1.—P. 181—188.
  197. *Soubiran C.* The vertical structure and kinematics of the Galaxy // *IAU Symp. N 161: Astronomy from wide field imaging / Eds H. T. MacGillivray, et al.* — Potsdam, Germany, 1993.—P. 435—439.
  198. *Stobie R. S., Ishida K., Peacock J. A.* Distance errors and the stellar luminosity function // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1989.—238, N 2.—P. 709—727.
  199. *Tinsley B. M.* Evolutions of the stars and gas in galaxies // *Fund. Cosm. Phys.*—1980.—5, N 4.—P. 287—388.
  200. *Toomre F.* Theories of spiral structure // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1977.—15.—P. 437—478.
  201. *Tremain S. D., Ostriker J. P., Spitzer L.* The formation of nuclear of galaxies // *Astrophys. J.*—1975.—196, N 2.—P. 407—411.
  202. *Tsvetanov Z. I., Golimowski D. A., Zheng Wei, et al.* The discovery of a second field methane brown dwarf from Sloan Digital Sky Survey commissioning data // *Astrophys. J. Lett.*—2000.—531, N 1.—P. L61—L65.
  203. *Tully R. B.* Nearby Galaxies Catalogue. — Cambridge, UK: Univ. press, 1988.—7+214 p.
  204. *Udry S., Eggenberger A., Mayor M., et al.* Planets in multiple-star systems: properties and detections // *Rev. mex. astron. y astrofis. (Ser. de Conf.)*—2004.—21.—P. 207—214.
  205. *Van den Berg S.* The Local Group of galaxies // *Astron. and Astrophys. Rev.*—1999.—9, N 3–4.—P. 273—318.
  206. *Van den Berg S.* The galaxies of the Local Group. — Cambridge, UK: Univ. press, 2000.—XIV+327 p.—(Cambridge Astrophys. Ser., Vol. 35).
  207. *Van den Bergh S.* Diameters of Galactic globular clusters // *Astrophys. J.*—1991.—375, N 2.—P. 594—599.
  208. *Van den Bergh S.* Globular cluster orbits and second parameter effects // *Astron. J.*—1993.—105, N 1646.—P. 971—975.
  209. *Van den Hoek L. B.* On the chemical and spectro-photometric evolution of nearby galaxies. — Amsterdam, The Netherlands, Astron. Inst. “Anton Pannekoek”, 1997.—292 p.
  210. *Van den Hoek L. B., de Jong T.* Inhomogeneous chemical evolution of the Galactic disc: evidence for sequential stellar enrichment? // *Astron. and Astrophys.*—1997.—318, N 1.—P. 231—251.
  211. *Van de Kamp P.* Parallax and orbital motion of Epsilon Eridani // *Astron. J.*—1974.—79, N 4.—P. 491—492.
  212. *Van de Kamp P.* Unseen astrometric companions of star // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1975.—13.—P. 295—333.
  213. *Van de Kamp P.* Astrometric study of Barnard's star from plates taken with the Sproul 61-cm refractor // *Astron. J.*—1975.—80, N 8.—P. 658—661.
  214. *Van de Kamp P., Wortn M. D.* Parallax and orbital motion of the unresolved astrometric binary BD+43°4305 // *Astron. J.*—1972.—77, N 1404.—P. 762—763.
  215. *Van Woerden H., Schwarz U. J., Peletier R. F., et al.* A confirmed location in the Galactic halo for the high-velocity cloud “Chain A” // *Nature.*—1999.—400.—P. 138—141.
  216. *Wakker B. P.* Distances and metallicities of high- and intermediate-velocity clouds // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2001.—136, N 2.—P. 463—535.
  217. *Wakker B. P., Howk J. C., Savage B. D., et al.* Accretion of low-metallicity gas by the Milky Way // *Nature.*—1999.—402, N 6760.—P. 388—390.
  218. *Wakker B. P., Van Woerden H.* High-velocity clouds // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*—1997.—35.—P. 217—266.

219. *Weinberger A. J., Becklin E. E., Schneider G., et al.* The circumstellar disk of HD 141569 imaged with NICMOS // *Astrophys. J.*—1999.—**525**.—P. L53—L56.
220. *Wetterer C. J., McGraw J. T.* RR Lyrae variable star distribution in the Galactic halo // *Astron. J.*—1996.—**112**.—P. 1046—1053.
221. *Whitford A. E.* Spectral scans of the nuclear bulge of the Galaxy: comparison with other galaxies // *Astrophys. J.*—1978.—**226**.—P. 777—789.
222. *Wielen R., Fuchs B., Dettbarn C.* On the birth-place of the Sun and the places of formation of other nearby stars // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**314**, N 2.—P. 438—447.
223. *Wolszcan A.* Towards planets around neutron stars // *Astrophys. Space Sci.*—1994.—**212**, N 1.—P. 67—75.
224. *Wolszcan A.* Confirming of the Earth-mass planets orbiting the millisecond pulsar PSR B1257+12 // *Science*.—1994.—**264**, N 5158.—P. 538—542.
225. *Wolszcan A.* The pulsar planets update // *ASP Conf. Ser.*—1997.—**119**.—P. 135—138.— (Planets Beyond the Solar System and the Next Generation of Space Missions / Ed. D. R. Soderblom).
226. *Wolszcan A., Frail D. A.* A Planetary system around millisecond pulsar PSR 1257+12 // *Nature*.—1992.—**355**.—P. 145—147.
227. *Wood M. A.* Constraints on the age and evolution of the Galaxy from the white dwarf luminosity function // *Astrophys. J.*—1992.—**386**, N 2.—P. 539—561.
228. *Yuan J. W.* Models of the galactic evolution and the age of the galactic disk // *Astron. and Astrophys.*—1989.—**224**, N 1/2.— P. 108—116.
229. *Zakhozhaĭ V. A.* Initial Jeans mass spectra of the three models of galactic star formation: a theoretical model // *Astron. and Astrophys. Transact.*—1995.—**6**.—P. 221—228.
230. *Zakhozhaĭ V. A.* Astrometrical method of searching for cool satellites of stars. Results and perspectives // Extension and connection of reference frames using ground based CCD technique. — Nikolaev, 2001.—P. 274—283.
231. *Zakhozhaĭ V. A., Krugly Yu. N., Pisarenko A. I., Psaryov V. A.* Structure of planetary systems and protoplanetary formations. Preliminary results // *Order and Chaos in Stellar and Planetary Systems. Abstracts: Intern. Conf., Saint Petersburg, August 17—24, 2003.* — Saint Petersburg: St. Pet. St. Univ., Sobolev Astron. In-t., 2003.—P. 65.

Поступила в редакцию 24.05.05