

УДК 524.3-14

В. А. Захожай¹, М. А. Бабенко²

¹Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
пл. Свободы 4, Харьков, 61077

²Херсонский государственный университет
ул. 40 лет Октября 27, Херсон, 73000

Ближайшие к Солнцу звезды и субзвезды: обзор исследований

Анализируется структура околосолнечных окрестностей, их место в Галактике и удаленность от ее центра. Рассматриваются каталоги близких к Солнцу звезд и субзвезд, составленные по результатам наземных и космических исследований в оптическом и инфракрасном диапазонах волн. Обсуждается проблема классификации космических тел Галактики, учитывающая астрофизические и космогонические критерии. Проводится анализ проблемы определения основных характеристик ближайших звезд и субзвезд. Анализируются статистические связи, выявленные между основными характеристиками звезд и субзвезд как следствие рассчитанных их физических эволюционных моделей и обсуждается их физический смысл. Рассматриваются вычисленные дифференциальные функции распределения астрофизических характеристик звезд и субзвезд.

НАЙБЛИЖЧІ ДО СОНЦЯ ЗОРІ ТА СУБЗОРІ: ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ, Захожай В. А., Бабенко М. О. — Аналізується структура навколосонячних околиць, їхнє місце в Галактиці і віддаленість від її центра. Розглядаються каталоги близьких до Сонця зір і субзір, складені за результатами наземних і космічних досліджень в оптичному і інфрачервоному діапазонах хвиль. Обговорюється проблема класифікації космічних тіл Галактики, що враховує астрофізичні і космогонічні критерії. Аналізується проблема визначення основних характеристик найближчих зір і субзір. Аналізуються статистичні зв'язки, виявлені між основними характеристиками зір і субзір як наслідок розрахованих їхніх фізичних еволюційних моделей і обговорюється їхній фізичний зміст. Розглядаються обчислені диференціальні функції розподілу астрофізичних характеристик зір і субзір.

STARS AND SUBSTARS NEAREST TO THE SUN: STUDY REVIEW, by Zakhzhay V. A., Babenko M. O. — The structure of the solar neighbourhoods, their locations in the Galaxy and their distances from the Galaxy centre are analyzed. We consider catalogues of stars and substars closest to the Sun that are compiled on the basis of ground-based and space mission results in the optical and infrared spectral regions. The problem of classification of celestial bodies of the Galaxy is discussed which takes into account astrophysical and cosmogonic criteria. The problem of determination of basic characteristics for the nearest stars and substars is analyzed. We consider statistical connections between the main characteristics of stars and substars which are revealed from their computed physical evolutionary models. The calculated differential distribution functions of the stellar and substellar astrophysical properties are discussed.

ВВЕДЕНИЕ

В окрестностях Солнца доступны для исследований такие звезды низкой светимости, как красные карлики, белые карлики и субкарлики, а в последнее время — и недавно открытые субзвезды и экзопланеты. С удалением от Солнца уменьшается значение отношения наблюдаемого числа звезд к ожидаемому [17]. В ближайшем солнечном окружении это отношение максимально. Здесь доступно для исследования достаточно большое число объектов, а вычисленные для них статистические характеристики могут считаться более надежными, чем аналогичные данные, полученные по выборкам из большего пространственного объема.

Такие данные очень важны для звездной статистики и космогонии. Если известны зависимости каких-либо параметров от галактоцентрического расстояния, то по данным, полученным в окрестностях Солнца, можно получить количественную оценку этой величины для Галактики в целом. К таким характеристикам относятся прежде всего пространственные плотности и астрофизические характеристики звезд низкой светимости различного элементного состава, субзвезд и экзопланет, данные о которых за пределами околосолнечной области крайне ограничены.

Вычисленные функции распределения параметров звезд (или субзвезд), принадлежащих окрестностям Солнца, являются также достаточно надежными. Они могут служить исходной плотностью вероятности, по которой с применением известных статистических связей можно вычислить дифференциальную функцию распределения. В этом случае есть необходимость в получении надежных статистических связей между различными характеристиками космических объектов.

Кроме перечисленного круга вопросов, настоящая статья посвящена также проблемам местоположения Солнца в Галактике, класси-

фикации и основным характеристикам объектов, которые его окружают, статистическим связям между этими характеристиками и их функциям распределения.

СТРУКТУРА ОКОЛОСОЛНЕЧНЫХ ОКРЕСТНОСТЕЙ И ИХ МЕСТО В ГАЛАКТИКЕ

В основе исследования масштаба Галактики, ее структуры и местоположения в ней Солнца лежит определение расстояния до галактического центра и составление каталогов, содержащих расстояния до звезд. Эти исследования интенсивно велись на протяжении последних 100 лет.

Галактическое местоположение Солнца, ранее связываемое с рукавом Ориона (который сейчас называют еще ответвлением Ориона) в последнее время отождествляют с Местной звездной системой (МЗС), составной частью которой является пояс Гулда [7—9]. Эта область находится между рукавами Персея и Стрельца, расстояние между которыми в районе Солнца согласно моделям 2- или 4-рукавной структуры Галактики составляет около 4 кпк [34, 40, 73, 89, 126].

Местоположение этой области также связывают и с галактоцентрическим расстоянием Солнца. Разброс полученных оценок за последние 20 лет составляет 1 кпк [11, 37—39, 85, 161, 163], а среднее значение расстояния Солнца от центра Галактики можно считать равным 8 кпк.

Местная звездная система является гравитационно связанной системой, возраст которой равен 500—700 млн лет [7, 63, 145—147, 187, 199]. Она по кинематическим признакам [145] ассоциируется со звездным сверхскоплением Сириуса [8, 84, 85], имеющим прямое галактическое вращение. Оценкой радиуса этой системы может служить расстояние 1 кпк, в пределах которого прослеживается совместное вращение O-, B-звезд вокруг центра масс МЗС [6].

Согласно каталогу рассеянных звездных скоплений WEBDA [<http://www.univie.ac.at/webda>] (электронная версия каталога BDA) в этой области известно 343 рассеянных скопления [114, 153]. Однако точное число звездных скоплений в МЗС неизвестно. Обнаруживаются звездные скопления малой поверхностной плотности, которые не всегда учитываются в соответствующих каталогах [55].

Пояс Гулда и МЗС как структурные звездные системы ранее отождествлялись как единая система [4, 9]. После анализа данных HIPPARCOS и лучевых скоростей O-, B-звезд эти системы стали разделять [7]. Солнце находится в пределах пояса Гулда на расстоянии 104 ± 4 пк от его центра в направлении на галактическую долготу $l = 180 \pm 2^\circ$ [149]. Границы этого пояса ограничены областью радиусом 500 пк [6]. Эта система наклонена к галактическому экватору под углом 20° в направлении линии узлов, пересекающая долготы $100^\circ, 280^\circ$

[8, 9]. Солнце возвышается над средней плоскостью пояса Гулда на 9—17 пк и находится на расстоянии 30—50 пк от линии узлов. Масса Пояса равна примерно $2 \cdot 10^6 m_{\odot}$. Дифференциальное вращение Галактики вытянуло МЗС в направлении долгот 45° , 225° . Согласно данным [146] Солнце захвачено гравитационным полем МЗС 100 млн лет назад. Его современная скорость относительно центра МЗС составляет 4 км/с.

Пояс Гулда включает более 500 O-, B-, A-звезд, более сотни звезд типа T Тельца [8, 98, 134, 135, 201] и 49 OB-ассоциаций и рассеянных скоплений звезд [7, 8]. Согласно параметрам дифференциального вращения пояса Гулда [6] он расширяется и имеет прямое вращение по отношению к осевому вращению Галактики. Средняя и максимальная (на расстоянии 300 пк от центра Пояса) линейные скорости вращения звезд составляют 3 ± 1 км/с и 6 км/с соответственно. Максимальная скорость расширения пояса Гулда (4.4 км/с) наблюдается на расстоянии 200 пк от его центра. Время, прошедшее с начала расширения, равное 44 млн лет, оценено из кривой расширения Пояса и удовлетворительно согласуется с его возрастом — 60 млн лет [7, 127]. За это время пояс Гулда не менее одного раза испытал влияние ударной волны, вызванной галактической волной плотности. Анализ движений OB-ассоциаций, находящихся на гелиоцентрических расстояниях до 3 кпк, позволил выявить сложную периодическую структуру их остаточных скоростей, объясняемую влиянием волн плотности [7, 12, 35, 36, 139].

Область межзвездного газа, которую ранее связывали с поясом Гулда (диаметр примерно 1 кпк), соответствует границе МЗС. Газовая составляющая МЗС, превышающая по массе звездную составляющую примерно на порядок [7], имеет сложную структуру. Вокруг OB-ассоциации Скорпиона — Центавра (Sco-Cen), важной составляющей МЗС, находится гигантская газовая оболочка (Местная каверна) с радиусом около 150 пк, заполненная горячим ($\sim 10^6$ К) очень разреженным газом (концентрация $n_p = 10^{-3} \dots 10^{-4} \text{ см}^{-3}$) [9, 176]. Края оболочки состоят из газопылевых волокон. Эта оболочка образована действием звездного ветра и вспышек сверхновых звезд в ассоциации Sco-Cen. Вокруг ассоциации имеется огромный остаток сверхновой — Северный полярный шпур (или Петля I) — остаток сверхновой, взорвавшейся 100—200 тыс. лет назад. Солнце находится вблизи края Местной каверны.

С поясом Гулда ассоциируются водородные облака H I [145, 154] и комплексы молекулярных облаков H₂ [9]. Солнце в настоящее время движется через область водорода H I (ее концентрация $n_p \approx 0.1 \dots 0.3 \text{ см}^{-3}$, температура 7000—8000 К, диаметр 7—15 пк [122, 160, 180]), называемую Местным межзвездным облаком (ММО). По-видимому, ММО образовалось в результате пересечения Местного пузыря и Пузыря I, которые являются еще более разреженными участками газовой составляющей галактического диска [123]. В частности, Местный

пузырь (100...300 пк, $n_p \approx 0.01 \text{ см}^{-3}$ [<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/238A>]), возможно, образовался в результате взрыва двух-трех сверхновых звезд [180].

Крупные плотные водородные молекулярные облака H_2 обнаружены также в области 100...500 пк от Солнца [77, 150, 151]. 18 самых крупных молекулярных облаков, расположенных в радиусе 500 пк вокруг Солнца, имеют массы в интервале $(3...190) \cdot 10^3 m_\odot$. Средняя поверхностная плотность молекулярного водорода в области 1 кпк от Солнца — $1.3 m_\odot/\text{пк}^2$, средняя концентрация частиц в галактической плоскости — 0.10 см^{-3} .

Десятипарсековая околосолнечная область включает объекты галактических населений II и I, которые настолько перемешаны, что имеют равномерные распределения как на небесной сфере, так и в пространстве [14, 16].

Ранее вычисленная средняя пространственная плотность для звезд с учетом селекции наблюдений ($0.125 \pm 0.002 \text{ зв/пк}^3$ [14]), очевидно, включает и субзвездную составляющую. Ожидаемое совместное число звезд и субзвезд равно 500. Кратные звездные системы (не более пяти компонентов) также распределены равномерно [16], а их распределение по числу n компонентов в системе подчиняется закону $f(n) = 0.582/n!$ [203].

Наблюдаемое доленое содержание субкарликов в этой области не превышают 4 % [18]. Остальные объекты относятся к населению I, куда входят также самые молодые звезды, субзвезды и планеты, образовавшиеся в последние 100 млн лет [29]. 5 % наблюдаемых белых карликов [18] относятся также к населению I. Самые старые белые карлики (как населения II, так и I) с возрастом более 7—8 млрд лет — ненаблюдаемы, поскольку за это время должны остыть [5], превратившись в черные карлики.

В последнее десятилетие в анализируемой области открыто 28 экзопланет и шесть протопланетных дисков [26]. Эти экзопланеты входят в состав 17 планетных систем, центральными светилами которых являются: 11 одиночных звезд; звезда GJ 667C, входящая в состав тройной системы (у которой АВ-компоненты существенно от нее удалены); поздний М-карлик (субзвезда SCR 1845). Двенадцать систем имеют по одной планете, одна система — две планеты, две — по три планеты и две — по четыре планеты. Наименее массивные экзопланеты (GJ 667C c, HD 20794 b, HD 20794 c, GJ 581 e) имеют массы около трех масс Земли.

Шесть протопланетных дисков окружают звезды ϵ Eri, τ Cet, α PsA (Фомальгаут), γ Lep, AU Mic, α Lyr (Вега), у двух из которых (ϵ Eri, α PsA) имеются еще и планеты [26]. Кратными звездными системами с большими расстояниями между компонентами являются четверная γ Lep и тройная AU Mic. За исключением систем, содержащих протопланетные диски и центральную субзвезду, все открытые планеты находятся ближе 3.4 а. е. от центральной звезды. Большинство звезд с

открытыми планетными системами являются М-карликами. Звезды с протопланетными дисками имеют спектральные классы А, F, G, K, M.

С учетом планетных систем с протопланетными дисками и Солнечной системы, наблюдаемое их доленое содержание в сфере с радиусом 10 пк составляет 5 %. По результатам мониторинга 1330 звезд спектральных классов F, G, K, M за последние 15 лет планетные системы были открыты у 7 % звезд [87]. Как известно, основные открытия планетных систем получены с помощью методов лучевых скоростей и транзитов [<http://exoplanet.eu>], т. е. методов, которые позволяют открывать планеты с малыми периодами обращения вокруг центрального объекта, а их орбиты наблюдаются с ребра.

Таким образом, реальное число планетных систем можно ожидать большим. Теоретические расчеты, выполненные для долевого содержания планетных систем у звезд, входящих в одиночные и кратные системы, дают оценки для звезд Галактики и окрестностей Солнца в пределах 0.20—0.25 [3] или 0.3—0.4 [52].

КАТАЛОГИ БЛИЗКИХ К СОЛНЦУ ЗВЕЗД И СУБЗВЕЗД

Результаты наземных определений параллаксов звезд. Каталог Шлезингера 1924 г. [173] является первой работой, в которой были систематизированы все измеренные к тому времени параллаксы звезд. Позже (1935 г.) он совместно с Дженкинс опубликовал свой новый каталог тригонометрических параллаксов [174], а в 1963 г. Дженкинс опубликовала более полную версию каталога и дополнение к нему [106, 107] на базе наблюдений, проведенных в основном в Ельской обсерватории. Каталог GCTP (General Catalogue of Trigonometric Parallaxes), последняя версия этих изданий, представленная в международной базе данных VizieR [<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?source=I/238A>]. Этот каталог содержит параллаксы 8994 объектов. Перечисленная серия каталогов и публикации Военно-морской обсерватории США [155—159] до 1997 г. были основными источниками тригонометрических параллаксов для создания каталогов близких к Солнцу звезд. К этому времени было опубликовано пять таких каталогов [13, 15, 19, 22, 28, 30, 91—95, 108—110, 120, 202], см. также сайт <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?source=V/70A>.

Каталоги близких звезд, полученные по наземным наблюдениям. Первым из них является каталог 255 звезд Койпера (Ku) [120], содержащий объекты до 10.5 пк. В период 1953—1971 гг. были опубликованы каталоги ван де Кампа [108—110], включающие 60 звезд и находящиеся ближе 5—5.2 пк. Наиболее известными являются каталоги Глизе (Gl) [91—93] и дополнения к нему, позже совместно с Ярейсом (GJ) [94, 95], опубликованные в период 1957—1993 гг. Они содержат данные о 3803 звездах, расположенных ближе 20—25 пк. В 1970-е годы были составлены каталоги 2179 звезд ближе 25 пк (Wooley) [202] и

356 звезд ближе 10 пк Захожаем (Zkh) [13]. Позже (1982—2002 гг.) были опубликованы дополнения к Zkh-каталогу [15, 19, 22, 28, 30] и его электронная версия (1996 г.): <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=V/101>.

Когда составлялись перечисленные выше каталоги, еще не были открыты субзвезды и не было известно, что поздние М-карлики (М5.5V...М9.5V) следует относить к этому классу объектов. Это стало известно только в конце 1990-х гг. [115, 136]. Поэтому фактически эти каталоги включали их.

Результаты космической миссии HIPPARCOS (параллаксы и собственные движения 118332 звезд), опубликованные в 1997 г. [191, см. также сайт http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/239/hip_main] существенно не повлияли на общее обнаруженное число в окрестностях Солнца, а отразилось лишь на точности их значений. Это связано с тем, что астрометрический телескоп HIPPARCOS определял параллаксы до 9^m (частично до 11^m), в то время как основная доля неизвестных близких звезд, как показал анализ функции светимости ближайших звезд [17, 18, 24], имеют абсолютные величины более 11^m .

Каталоги, полученные по результатам наземных и космических исследований в оптическом и ИК-диапазонах волн. В последнее десятилетие вышло еще шесть каталогов, включающих близкие звезды и субзвезды. Каталог Оппенгеймера, Голимовски и Дюранс [148] (2001 г.), составленный по наземным и космическим наблюдениям, а также по результатам ИК-измерений [192], содержит астрометрические и кинематические параметры 167 спутников звезд, расположенных ближе 8 пк. Фан-Бао и др. (2003 г.), используя данные каталога DENIS (Deep Near Infrared Survey of the Southern Sky) [<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=II/252/denis>], составили свой каталог астрометрических и фотометрических данных 50 поздних М-карликов [152], находящихся в радиусе 30 пк от Солнца.

Каталоги Липайна [125, <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/AJ/130/1680>; http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/298/lspm_n], и Люка и Хайтера [129, <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/AJ/129/1063/table5>] вышли в 2005 г. Первый из них содержит красные карлики, субгиганты и гиганты, расположенные в радиусе 33 пк от Солнца (всего 4131 звезд). Эта работа базируется на каталоге собственных движений звезд северного полушария. Каталог Люка и Хайтера содержит данные о металличностях (28 химических элементов) для 114 звезд, расположенных ближе 15 пк.

Карликам, которые расположены ближе 20 пк от Солнца, посвящены работы Рейда и др. [162] и Сиона и др. [179]. Расстояния, спектральные классы, звездные величины в *J*-, *H*-, *K*-полосах 27 L-карликов содержатся в каталоге Рейда и др. [162], опубликованного в 2008 г. Приведенные данные базируются на ИК-наблюдениях, проведенных с

помощью Космического телескопа им. Хаббла. Каталог Сиона и др. (2009 г. [179]) содержит астрометрические и фотометрические данные, эффективные температуры, возрасты и ускорения свободного падения 129 белых карликов.

КЛАССИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Задача, которая решается в процессе анализа выборки звезд или интересующего региона — это определение класса космических тел, к которому относятся исследуемые компоненты звездной системы. Особенно возникает неопределенность, если эти компоненты имеют низкую светимость или попадают в категорию невидимых спутников. В настоящее время уже не возникает сомнений, что, принципиально, можно ограничиться тремя основными классами космических тел, к которым относятся звезды, субзвезды и планеты [23]. Однако не всегда находят консенсус относительно критериев, по которым эти космические тела попадают в тот, или иной класс. Остается и проблема определения их астрофизических характеристик, крайне важных при решении широкого круга астрономических задач.

Основные идеи и аргументы определения минимальных масс космических тел. После открытия термоядерных источников звездной энергии [62], продолжительное время шла дискуссия о минимальных массах звезд m_{\min} [23]. Так, значение $m_{\min} \approx 0.04m_{\odot}$ было получено Голдрайхом и Линден-Беллом из условия минимальной длины волны, возникающей в неустойчивом однородно вращающемся диске [96].

Развитие идей Хойла [101], Фаулера и Хойла [88], Гаустеда [90], Сучкова и Щекинова [51], Лоу и Линден-Белла [128], Линден-Белла [133], Силка [178] о выборе минимальной массы звезд, как массе Джинса, соответствующей единичной оптической толщине, дали значение $m_{\min} = (0.005...0.01)m_{\odot}$. Эта идея наиболее последовательно была разработана в работе Риса [161]. Согласно его результатам за минимальную массу можно принять значение $m_{\min} = 0.007m_{\odot}$, поскольку начиная с этой массы протозвездного облака его гравитационная энергия превышает тепловую.

Кумар предложил считать самыми маломассивными звездами те, в недрах которых может проходить полный протон-протонный ($p-p$) цикл ядерных реакций [121], получив значения $m_{\min} = (0.07...0.09)m_{\odot}$, для водородного состава $X = 0.62$ и 0.90 соответственно. Позже Федорова и Блинников уточнили это значение, приняв солнечный состав в качестве элементного состава звезд: $m_{\min} = (0.08...0.09)m_{\odot}$ [54]. Было также получено, что увеличение доли тяжелых ядер, учет вращения и собственного магнитного поля может привести к увеличению предельной минимальной массы звезд на 20—50 % [53].

Поскольку структура космических тел с массой меньше $0.08m_{\odot}$ существенно отличается от звездной (в недрах происходит вырожде-

ние электронов), а термоядерные реакции уже не определяют их источники излучения, Гартер предложила назвать эти объекты коричневыми карликами [189], а Александров и Захожай — субзвездами, выделив их в отдельный класс космических тел [2].

С нижним пределом коричневых карликов связывают минимальную массу, при которой в центральных областях не реализуются физические условия для протекания никаких термоядерных реакций. У объектов с массой менее $0.08m_{\odot}$ таких реакций три: горение водорода, лития и дейтерия. Для протекания последней из них необходимы самые низкие центральные температуры ($4 \cdot 10^5$ К), которые достигаются в центральных областях коричневых карликов, минимальные массы которых равны $m_{\min,ss} = 0.012m_{\odot}$ [71], $0.013m_{\odot}$ [65], $0.015m_{\odot}$ [72]. Различия оценок минимальных масс коричневых карликов связаны с учетом их эволюционных особенностей.

В основу определения минимальных планетных масс $m_{\min,pl}$ закладывается результат действия процесса дифференциации их недр с последующим и обязательным условием образования ядра [2]. Предлагалось несколько вариантов расчета минимальных масс планет $m_{\min,pl}$. Александров и Захожай [2], анализируя скорость роста ядра, время полной дифференциации вещества в планете [32] и время аккумуляции планет земного типа [46], получили значение $m_{\min,pl} \sim 10^{-10}m_{\odot}$. На порядок меньшие оценки были получены Слютой и Воропаевым [48] для ледяных планет: $m_{\min,pl} \sim 10^{-11}m_{\odot}$.

Стерн и Левинсон [182] определяют нижний предел для планет как способность космического тела находиться в гидростатическом равновесии, что должно проявляться в их сферической форме. Мерой отклонения от сферической формы может служить высота образующихся гор (типичная задача, которая решается в рамках общего планетоведения — см., например, [33]).

В рамках современной классификации [86] три типа планет имеют твердые поверхности: ледяные (Ic), силикатные (Si) и металлические (Me). Можно добиться согласия в определении $m_{\min,pl}$ этим методом для ледяных и силикатных планет, значения которых были приведены выше ($m_{\min,pl}(Ic) \sim 10^{-11}m_{\odot}$, $m_{\min,pl}(Si) \sim 10^{-10}m_{\odot}$). Тогда, исходя из средней плотности гор и ожидаемого среднего предела прочности таких горных пород, оценка массы для металлических планет этим методом может быть следующей: $m_{\min,pl}(Me) \sim 10^{-9}m_{\odot}$.

Астрофизические и космогонические критерии разделения на классы космических тел. Разделение космических тел на три класса, исходя только из их внутреннего строения, не может считаться достаточно удачным. Если ограничиться только этим критерием, в один класс космических тел следует отнести, к примеру, субзвезды и белые карлики (отличающиеся только элементным составом), в то время как предыдущая их история является принципиально различной. С другой стороны, использование в качестве нижнего предела для субзвезд возможность горения дейтерия [97, 103, 177, 181], подразумевает, что

планеты (массы которых следует принять меньше $0.012m_{\odot}$) могут образовываться как путем коагуляции в протопланетных дисках, так и путем самогравитации, исходя из результатов Риса [161]. Логичнее, чтобы космические объекты одного и того же класса имели сходное строение, одни и те же источники внутренней энергии и механизмы образования. В таком случае следует отнести к субзвездам и космические тела с массами $(0.007...0.012)m_{\odot}$, как это было предложено В. А. Захожаем [21]. В этом случае максимальные массы планет необходимо ограничить значением $0.007m_{\odot}$, а объекты с массой $(0.007...0.012)m_{\odot}$ считать карликовыми субзвездами, которые образуются, как и более массивные субзвезды и звезды в целом, путем самогравитации, однако в их недрах не возникают условия, необходимые для протекания ядерных реакций. Приведенные выше замечания привели к соответствующим формулировкам определений выделенных трех классов космических тел, которые наиболее четко приведены в работе [25].

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД

Массы звезд вычисляются однозначно для компонентов, входящих в состав одновременно и визуально-двойных, и спектрально-двойных систем. До середины 1990-х гг. такие вычисления производились исключительно из наземных наблюдений. К этому времени в пределах 10 пк были надежно вычислены прямыми методами массы 25 звезд, включая Солнце, а по анализу орбитальных элементов спектрально-двойных и по статистической зависимости «масса — спектр» Захожай оценил 247 масс ближайших звезд [19]. Анализируя также кривые лучевых скоростей 16 компонентов спектрально-двойных систем, были оценены интервалы масс 14 компонентов [19]. Существование этих 12 звезд и 2 субзвезд (спектральных классов M6V) в настоящее время подтверждено, и они внесены в базу данных Симбад: Zkh 7, 17, 57, 100, 146, 155, 156, 182, 206, 228, 237, 275, 336, 344.

Создание современных звездных интерферометров после 1995 г. позволило использовать их для вычисления масс компонентов спектрально-двойных звезд: Марк III — для восьми пар (π And, θ Aqu, β Aur, ζ UMa, 93 Leo, 113 Her, β и δ Tri) [113]; SUSI (Sydney University Stellar Interferometer) — для σ и δ Sco [187] по данным [144]; CHARA (Center for High Angular Resolution Astronomy) — для 10 двойных и кратных систем [59, 64]. Полный перечень результатов содержится в базе данных [<http://www.chara.gsu.edu/CHARA/techreport.php>].

В каталоге Цветковича и Нинковича [76, <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/other/Ser/180.71/binaries>], составленного на базе каталогов кратных звезд WDS (Washington Double Star) [<http://ad.usno.navy.mil/wds>] и HIPPARCOS [http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/239/h_dm_com, <http://exoplanet.eu>], фигурируют

массы компонентов 18 визуально-двойных звезд, находящихся ближе 10 пк от Солнца. В каталоге Боруцкого и др. [http://archdev.stsci.edu/kepler/host_stars.html] содержатся сравнимые с солнечным значением массы 997 звезд, фигурирующие в программе наблюдений космического телескопа им. Кеплера. Дальнейшие вычисления масс могут быть осуществлены после анализа данных Шестого [<http://ad.usno.navy.mil/wds/orb6.html>] и Девятого [<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=B/sb9>] каталогов орбит визуально-двойных звезд и каталога CHARA [<http://www.chara.gsu.edu/~taylor/catalogpub/catalogpub.html>] спектрально-двойных звезд, содержащих данные о суммарных и отношениях масс компонентов.

Радиусы звезд и эффективные температуры. Прямые измерения угловых диаметров звезд при наличии их параллаксов и класса светимости позволяют вычислить их линейные радиусы и эффективные температуры. Прямые измерения угловых диаметров можно осуществить с помощью звездных интерферометров, интерферометра интенсивностей, метода спекл-интерферометрии, анализа дифракционного профиля лунных покрытий, кривых блеска затменных переменных звезд. До конца 1980-х годов эффективность этих методов была низкой. Так, в радиусе 25 пк были измерены радиусы у 36 звезд (включая Солнце): у 9 гигантов и 23 звезд главной последовательности [22]. Среди них всего семь ярких звезд главной последовательности (Солнце, χ Ori, Сириус, Прокцион, Вега, Альтаир и Фомальгаут) находятся ближе 10 пк.

С 1990-х гг. метод лунных покрытий становится одним из самых эффективных. Только в обсерватории Тирго (Италия) в 1992—2001 гг. были измерены угловые диаметры больше чем 50 гигантов и сверхгигантов [164—166, 169, 170], см. также сайт <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/A+A/434/1201/table4>. В обсерватории Маунт Абу (Индия) были измерены угловые диаметры: 15 М-гигантов [190] и переменные звезды U Agi и Z Sco [140]. В сводном каталоге Вайта и Файермана [200] содержится 124 угловых диаметра звезд, измеренных методом лунных покрытий. Всего к настоящему времени этим методом измерено более 150 угловых диаметров звезд.

С помощью появившихся длиннобазовых оптических и ИК-интерферометров за 25 лет их работы проведены сотни измерений радиусов звезд. ИК-интерферометр IOTA (Infrared Optical Telescope Array, $d \leq 38$ м, $\lambda = 2.2$ мкм) был использован для определения угловых диаметров 37 гигантов и сверхгигантов спектральных классов $S_p = K0...M8$ [83], 15 углеродных звезд [82], 74 красных гигантов [81], 69 гигантов и сверхгигантов $S_p = B7...M6$ [60]. С применением интерферометров GI2T/REGAIN (Grand Interféromètre à Deux Télescopes, REGAIN, $d \leq 65$ м, $\lambda = 2...2.2$ мкм) измерили угловой диаметр гиганта R Cas [198]; а PTI (Palomar Testbed Interferometer, $d \leq 110$ м, $\lambda = 1.6$ и 2.2 мкм) — угловые диаметры пяти близких к Солнцу звезд (GX And, GJ 105A, GJ 380, GJ 411, звезды Барнарда) [124]. Звездный интерферо-

метр Mark III ($d \leq 31$ м, $\lambda = 451$ и 800 мкм) был использован для определения угловых диаметров 85 звезд [142]. Интерферометр PRIMA (Phase-Referenced Imaging and Microarcsecond Astrometry, $\lambda = 0.45 \dots 1.2$ мкм [43]) был использован для измерения угловых диаметров 191 гиганта и Сириуса А [167—169]. С помощью звездного интерферометра SUSI ($d \leq 80$ м, $\lambda = 0.7 \dots 0.8$ мкм) были измерены угловые диаметры желтого субгиганта β Нуи [143], цефеиды 1 Car и Сириуса А [78, 79].

С помощью интерферометров CHARA и PTI был определен угловой диаметр карлика λ Boo [74]. Другие результаты, полученные с помощью интерферометров CHARA, среди которых измеренные радиусы близких к Солнцу звезд (Альтаир [141], 61 Лебеда А и В [113], Регул [137] и др. — всего около 60 звезд), приведены в достаточно большом перечне литературных источников на сайте <http://www.chara.gsu.edu/CHARA/techreport.php>.

Элементный состав звезд обычно получают из анализа их металличности $[Me/H]$ (другое обозначение $[Fe/H]$). Каталог металличностей близких к Солнцу 558 звезд (в основном ближе 30 пк) впервые был составлен Захожаем и Шапаренко [28]. Эта работа основывалась на базе спектроскопических определений 1921 металличностей 1035 звезд, проведенных Карелом де Стробелом [69] и фотометрических $[Me/H]$, вычисленных по связи с индексом металличности $\delta_{0.6}(U-B)$.

После выхода каталога фотометрических металличностей [28] выяснилось, что к ближайшим звездам следует отнести еще две звезды Gl 512.1 и Gl 137, имеющих параллаксы $\pi'' \geq 0.100''$ [95]. Таким образом, до 10 пк определены спектроскопические и фотометрические металличности 55 звезд, включая Солнце. В основном это F-, G-, K-карлики.

Металличности звезд, расположенных ближе 15 пк от Солнца, содержатся в каталоге Люка та Хейтера [129]: данные о содержании 28 химических элементов для 114 звезд. Металличности близких звезд приведены в каталоге спектроскопических параметров 1040 F-, G-, K-звезд Валенти и Фишера [195, <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=J/ApJS/159/141/stars>], где кроме металличностей содержатся данные об эффективных температурах и возрастах звезд.

Оценки возраста звезд, субзвезд и их систем. Самые старые звезды — субкарлики, являющиеся представителями гало Галактики. В десятипарсековом окружении их доленое содержание составляет 4 %, а возраст соответствует возрасту гало, т. е. около 12 млрд лет.

Звезды с пониженным содержанием металлов ($[Me/H] < 0$) в окрестностях Солнца составляют 31 % [29]. Нет уверенности, что все они являются старыми звездами, в силу возможного перемешивания дозвездного вещества. Однако как кандидаты в более старые звезды, чем Солнце, они рассматриваться могут.

Основная доля звезд (около 68 %) имеет примерно солнечный элементный состав, $[Me/H] \approx 0$ [29]. Это звезды главной последователь-

ности и их компоненты, если они входят в состав кратных систем.

К наиболее молодым представителям солнечного окружения следует отнести звезды с повышенным содержанием металлов: 0.4 % звезд имеют $[Me/H] > 0$ [29]. К молодым объектам следует отнести субзвезды, наблюдаемые в видимом диапазоне, звезды с протопланетными дисками и короткопериодическими орбитами водородно-гелиевых планет.

Оценка возраста поздних М-карликов. Поздние М-карлики имеют эффективные температуры больше 2400 К и спектры, более поздние, чем М 5.5 [115, 136]. Эти объекты являются разновидностью субзвезд, эволюция которых на основной стадии развития связана с их остыванием. Следовательно, возраст поздних М-карликов можно оценить по зависимости «эффективная температура — возраст» [44]. Анализ показал [24], что в пределах 10 пк от Солнца есть 43 кратные системы, в состав которых входят 72 компонента, включая 48 поздних М-карликов моложе 630 млн лет.

Возраст субзвезд и окружающих протопланетных дисков. Распределение энергии в спектрах (РЭС) таких систем зависит от темпа остывания субзвезд, имеющих определенные массы и элементный состав. Как следует из расчетов РЭС, проведенных для таких систем в диапазоне длин волн λ от видимого до миллиметрового диапазона [27], диски проявляются в виде ИК-избытков ($\lambda/10$ мкм). Наклон РЭС в этой области чувствителен к возрасту таких систем [67].

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Эволюционные модели субзвезд и их следствия. Субзвезды рассматриваются как политропные «шары» с соответствующими выражениями для связей их радиуса с центральными температурами и плотностями [56, 184]. Для расчетов эволюционных моделей используется связь значений параметров вырождения в центральных областях с общим радиусом субзвезд [75]. Зависимость центральной температуры от среднего числа нуклонов и энергии Ферми дает оценку радиуса вырожденных карликов [66]. Учет действия электростатической энергии ядер, погруженных в «море электронов», и уменьшения кулоновской энергии отталкивания электронов из-за принципа запрета использовались для получения интерполяционных формул радиусов субзвезд [102, 184—186, 193, 194, 196, 206], см. также сайты <http://cdsweb.u-strasbg.fr>; <http://exoplanet.eu>; <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=V/101>. Выражение для светимости, записанное в виде связи центральной температуры и градиента уменьшения их радиуса применялось для построения эволюционных моделей субзвезд [185]. На основании предложенной системы дифференциальных уравнений, в состав которой вошли выражение для расчета градиента параметра

вырождения и адиабатические коэффициенты нового вида, в последнее десятилетие разработана физическая эволюционная модель [24, 44], позволяющая рассчитать внутреннюю структуру субзвезд, находящихся в адиабатическом равновесии.

Наряду с установлением аналитических связей между определенными физическими характеристиками субзвезд, в современных эволюционных моделях [65, 71, 183, 185] рассчитывались зависимости эффективных температур $T_{\text{эф}}$ и светимостей L субзвезд от их массы m , возраста t и коэффициента непрозрачности κ . Использование стандартного выражения для светимости дает возможность записать аналогичную связь между радиусом субзвезды R и t , m , κ . В рамках рассчитываемых моделей непрозрачность зависит от массы (радиуса или эффективной температуры) субзвезды и ее возраста. Поэтому ее можно исключить, выразив через эти величины, и записать следующую систему уравнений:

$$\lg(m / m_{\odot}) = a_1 \lg T_{\text{эф}} + a_2 \lg t + a_3, \quad (1)$$

$$\lg(R / R_{\odot}) = b_1 \lg T_{\text{эф}} + b_2 \lg t + b_3, \quad (2)$$

$$\lg(L / L_{\odot}) = c_1 \lg T_{\text{эф}} + c_2 \lg t + c_3, \quad (3)$$

где a_j, b_j, c_j — постоянные коэффициенты. Первое уравнение системы демонстрирует изменение эффективной температуры со временем в зависимости от массы. Второе уравнение дает зависимость радиуса субзвезды от ее эффективной температуры и возраста, а третье — положение субзвезд на диаграмме Герцшпрунга — Рессела.

Статистические связи между основными характеристиками звезд. Зависимости, аналогичные зависимостям (1)—(3), могут быть записаны и для звезд. Действительно, если изменения со временем параметра звезды в левой части этих уравнений пренебрежимо малы (что возможно на определенной стадии развития, например на главной последовательности), величина $\lg t$ становится постоянной, и уравнения принимают известную функциональную форму: зависимости «масса — эффективная температура» звезд [46], «радиус — эффективная температура» [22] и «абсолютная величина — эффективная температура» для ближайших звезд [18]. Есть и другие известные зависимости, которые можно получить из уравнений (1)—(3): «масса — светимость», «масса — радиус», «время пребывания на главной последовательности — масса звезд нулевого возраста», фигурирующие в астрофизике и звездной астрономии [80, 171].

В систему уравнений (1)—(3) входят четыре из пяти основных характеристик космических тел: масса, радиус, эффективная температура и возраст. Пятая основная характеристика — элементный состав — входит неявно: от нее должны зависеть коэффициенты a_i, b_i, c_i . Это видно из выражения (3), представляющего собой ветвь главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рессела. В субкарликах, типичных представителях населения II Галактики, идут ядерные реак-

ции, как и у звезд населения I, которые находятся на главной последовательности. Эти ветви имеют примерно один и тот же наклон, но различаются по элементному составу. Об этом же свидетельствует и рассчитанная Кайрелем де Стробелем [68] ветвь главной последовательности нулевого возраста для звезд с различным элементным составом, приведенная на рис. 4 Марочником и Сучковым в монографии [34].

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД И СУБЗВЕЗД

Функции светимости впервые фигурируют в работах Каптейна и ван Райна [111, 112]. Введение понятия приведенного собственного движения позволило Лейтену [130] определить функцию светимости для 100 тыс. звезд южного полушария. Анализ этого метода, проведенный Шацовой [57], привел к выводу о существенном занижении вклада звезд низкой светимости. Ишханов [31] для вычисления функции светимости применил метод экстраполяции значений $\varphi(M)$ к нулевому расстоянию. А Гусева с соавторами [99] вычислила две функции светимости, по выборкам звезд каталогов Глизе и Ярейса [92—94].

Использование функций светимости Ярейса и Вилена [105], Шацовой [57] представляют трудность из-за того, что в первой из них приведены только значения максимумов и минимумов, а во второй — только графическое сравнение с полученной ранее функцией $\varphi(M)$ Лейтена [131]. Сравнения функций светимости: Мак-Каски, ван Райна, Стариковой [49], Лейтена представлены в работе [138]; Лейтена, Ваннера, Паренаго и Ишханова в работе [31]; Паренаго [42] и Лейтена [132] — Агекяном [1]. Как показал анализ, максимумы ($M_V = 6^m, 11^m$) и минимум ($M_V = 7^m$) усредненной функции $\varphi(M)$ близки к значениям построенной методом Паренаго [41] функции светимости Захожая для звезд, расположенных ближе 10 пк [14].

Аналитически описать функции светимости не удалось. Была попытка аппроксимировать одним или двумя гауссовыми распределениями [175], но это направление не получило развития.

Спектр и функция масс. Распределения количества звезд, приходящихся на единичный интервал массы (дифференциальное частотное распределение $n(m)$) и на единичный логарифмический интервал ($\xi(\lg m)$), называют спектром масс и функцией масс звезд соответственно [47].

Солпитер первым получил спектр масс звезд главной последовательности с показателем степени $\gamma = -2.35$ на интервале $(0.4 \dots 10)m_{\odot}$ [172]. Согласно данным [70] в областях звездообразования этому значению лучше соответствует интервал масс $(2 \dots 120)m_{\odot}$. Для объяснения распределения маломассивных звезд, солнечных и несколько больших масс Скало предложил использовать лог-нормальный закон

[47] с показателем спектра масс $\gamma = -(1.94 + 0.94 \lg m)$.

Диапазон изменения показателя степени спектра масс звезд околосолнечного окружения находится в пределах: $\gamma = -0.4 \dots -3.3$ [10, 18, 20, 47, 100, 116, 117, 163, 172, 193]. Этот диапазон изменения показателя степени спектра масс практически совпадает с соответствующим диапазоном γ для рассеянных скоплений [20].

Согласно Бесселю и Стрингфеллоу из экстраполяции полученной ими функции масс до нулевой массы не следует, что в субзвездах заключена большая масса [61]. Обзоры солнечной окрестности также не обнаружили существенного роста функции звездных масс в сторону меньших масс [119]. Это подтверждает и начальная функция масс (НФМ) с максимумом на $0.43 m_{\odot}$ [97, 196], вычисленная по 257 М-карликам ($8^m \leq M_V \leq 18.3^m$), наблюдаемым Космическим телескопом им. Хаббла. Это согласуется и с наземными фотометрическими исследованиями близких звезд [186].

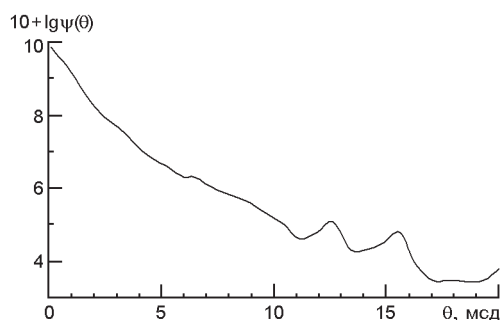
Начальные спектры масс (НСМ), полученные для коричневых карликов являющихся спутниками кратных звездных систем, соответствуют значению $\gamma = -1.2$ на интервале $(0.012 \dots 0.075) m_{\odot}$ [207], а не являющихся спутниками — $\gamma = -0.3$ для масс $(0.04 \dots 0.10) m_{\odot}$ [58]. Эти НСМ на указанных интервалах частично согласуются (для $\Delta m = (0.04 \dots 0.10) m_{\odot}$ [58]) с начальными НСМ Кроупа и Уэйднера [118]: $\gamma = -0.3$ на интервале $\Delta m = (0.01 \dots 0.08) m_{\odot}$; $\gamma = -1.3$ на $\Delta m = (0.08 \dots 0.5) m_{\odot}$; $\gamma = -2.3$ на $\Delta m = (0.5 \dots 1) m_{\odot}$; $\gamma = -2.7$ для $m > m_{\odot}$.

Полученному Захожаем для окрестностей Солнца лог-нормальному спектру масс на $\Delta m = (0.016 \dots 1.26) m_{\odot}$ [205] соответствует максимум на значении $0.5 m_{\odot}$ и $\gamma = -1.32 - 0.98 \lg(m/m_{\odot})$. Этот показатель степени находится в полном соответствии с функциями масс близких к Солнцу молодых звездных скоплений [17, 20]. А именно, показатель наблюдаемых спектров масс $\gamma = -1 \pm 0.1$ встречается чаще всего и соответствует интервалу масс $(0.4 \dots 0.6) m_{\odot}$ для 13 анализируемых скоплений из 17. С другой стороны, показатель спектра масс [97] $\gamma = -2.33 - 3.64 \lg(m/m_{\odot})$, хотя и согласуется с наклоном функции масс [172] в ограниченном интервале масс ($\lg(m/m_{\odot}) \approx 0$), но не согласуется с данными о показателях спектров масс звездных скоплений для интервала масс меньше солнечной.

Спектр радиусов и функция угловых диаметров звезд. Спектр радиусов звезд, находящихся ближе 10 пк, рассчитанный методом Паренаго [41] в предположении об их пространственном равномерном распределении, представлен в работе Захожая [18]. Этот спектр соответствует интервалу $(0.1 \dots 2.8) R_{\odot}$, и коррелирует с построенным спектром масс ближайших звезд таким же методом, приведенным также в этой работе.

Функция угловых диаметров ближайших звезд $\psi(\theta)$ на интервале $\Delta \theta = 0.09 \dots 20$ мсд была также представлена в работе [18] как результат расчетов, проведенных в работе [17]. Эта функция распределения при-

Функция распределения угловых диаметров ближайших звезд по данным [5]



ведена на рисунке. Для ее расчета использовались приведенный выше спектр радиусов и равномерный закон пространственного распределения звезд ближе 10 пк, проявляющийся в этой области [24]. Рассчитанная функция распределения может быть условно разбита на три участка. На первом интервале $\Delta\theta = 0.09 \dots 2$ мсд значения функции распределения $\psi(\theta_i)$ резко уменьшаются от 72.6 до 1.14 %. На втором интервале $\Delta\theta = 2 \dots 10$ мсд $\psi(\theta_i)$ уменьшается еще в 1140 раз, до значений 0.001 %. Далее функция $\psi(\theta_i)$ уменьшается в 17 раз на третьем интервале $\Delta\theta = 10 \dots 20$ мсд, имея наименьшее значение $\psi(20) = 0.00006$ %.

Аппроксимации ни спектра радиусов, ни функции угловых диаметров не проводились.

Функция металличности. Результаты расчетов функций металличностей $g([\text{Me}/\text{H}])$ по выборкам звезд гало ($[\text{Me}/\text{H}] = -1.2 \dots -0.5$), G-карликов ($[\text{Me}/\text{H}] = -0.5 \dots +0.1$) приведены в работе Сучкова [50]. Для построения функции металличностей близких звезд Захожаем и Шапаренко была использована выборка 502 F-, G-, K-карликов (с вычисленными металличностями по данным *UBV*-фотометрии [28]), находящихся в радиусе 30 пк от Солнца. Функция металличностей [29] была построена методом Паренаго [41] в предположении о равномерном распределении звезд в этой области. 97 % выборки близких к Солнцу F-, G-, K-карликов имеют металличности $[\text{Me}/\text{H}] = -0.4 \dots +0.1$. У функции металличности хорошо проявились три максимума ($[\text{Me}/\text{H}] = 0.0, -0.3, -0.6$) и два минимума ($[\text{Me}/\text{H}] = -0.2 \dots -0.5$). «Хвост» распределения в интервале значений $[\text{Me}/\text{H}] = [-0.9 \dots -1.2]$ составляют субкарлики. Второй максимум в распределении звезд типа RR Лиры, приведенной в работе [34], совпадает с первым максимумом построенной функции [29]. Максимумы функций металличностей для звезд диска Галактики (G-карлики) [50] и близких F-, G-, K-карликов [29] достигаются при одних и тех же значениях $[\text{Me}/\text{H}]$.

ВЫВОДЫ

1. Солнце лежит в поясе Гулда, входящего в состав МЗС, но «генетически» не связано с их образованием. Дальнейшая его динамическая эволюция тесно связана с этой звездной системой.

2. Десятипарсекое околосолнечное окружение содержит богатое разнообразие космических объектов, наблюдение которых на больших расстояниях от Солнца крайне ограничено. В этой области отношение наблюдаемого числа объектов к ожидаемому самое большое — около 70 %.

3. При классификации космических тел определяющими являются масса и образование. Элементный состав влияет на значение граничных масс, по которым разделяются космические тела на три основные классы: звезды, субзвезды и планеты.

4. Вычисление основных характеристик ближайших звезд и субзвезд остается актуальным из-за незначительного числа определения их прямыми методами. Применение статистических методов к решению этих задач в настоящее время является основным средством.

5. Система уравнений (1)—(3), связывающих все основные характеристики субзвезд, может быть применима для физического обоснования связей между основными характеристиками звезд, и может служить обоснованием для получения широкого круга статистических зависимостей.

6. Вычисление дифференциальных функций распределения основных характеристик ближайших звезд и субзвезд относится к приоритетным задачам звездной статистики. Наибольшее внимание среди них уделяется спектру и функции масс, но и для них еще не получен окончательный аналитический вид, удовлетворительно описывающий широкий круг наблюдательных данных.

1. Агекян Е. А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. — М.: Наука, 1974.—264 с.
2. Александров Ю. В., Захожай В. А. Что такое планеты // Астрон. вестн.—1980.—14, № 3.—С. 129—132.
3. Александров Ю. В., Захожай В. А. К вопросу о возможном числе планетных систем в Галактике // Астрон. вестн.—1983.—17, № 2.—С. 82—86.
4. Аллен К. У. Астрофизические величины. — Пер. с англ., 2-е изд., переработ. и доп. — М.: Мир, 1977.—448 с.
5. Бисноватый-Коган Г. С. Физические вопросы теории звездной эволюции. — М.: Наука, 1989.—488 с.
6. Бобылев В. В. Определение кривой вращения звезд пояса Гюльда на основе формул Ботлингера // Письма в Астрон. журн.—2004.—30, № 3.—С. 185—195.
7. Бобылев В. В. Кинематические особенности звезд пояса Гюльда // Письма в Астрон. журн.—2004.—30, № 11.—С. 861—873.
8. Бобылев В. В. Кинематика пояса Гюльда на основе рассеянных скоплений звезд // Письма в Астрон. журн.—2006.—32, № 12.—С. 906—917.
9. Бочкарев Н. Г. Местная межзвездная среда. — М.: Наука, 1990.—192 с.
10. Верецагин С. В., Чупина Н. В. Спектр масс околосолнечных окрестностей и звездное скопление УМа // Астрон. журн.— 1994.—71, № 1.—С. 72—77.
11. Дамбис А. К., Мельник А. М., Расторгуев А. С. Тригонометрические параллаксы и кинематически согласованная шкала расстояний до ОВ-ассоциаций // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 1.—С. 68—75.
12. Заболотских М. В., Расторгуев А. С., Дамбис А. К. Кинематические параметры

- молодых субсистем и кривая вращения Галактики // Письма в Астрон. журн.—2002.—**28**, № 7.—С. 516—526.
13. *Захожай В. А.* Ближайшие звезды // Вестн. Харьков. ун-та. Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия.—1979.—№ 190, вып. 14.—С. 52—77.
 14. *Захожай В. А.* Функция светимости и пространственная плотность ближайших звезд // Астрометрия и астрофизика.—1980.—Вып. 42.—С. 64—69.
 15. *Захожай В. А.* Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс // Вестн. Харьков. ун-та. Астрометрия и физика Солнечной системы.—1982.—№ 232, вып. 17.—С. 64—70.
 16. *Захожай В. А.* Звездные подсчеты до 10 парсек // Астрометрия и астрофизика.—1983.—Вып. 50.—С. 47—52.
 17. *Захожай В. А.* Статистические свойства ближайших звезд: Дис. канд. физ.-мат. наук. — Л.: ГАО АН СССР, 1987.—206 с. — Машинопись.
 18. *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.
 19. *Захожай В. А.* Массы ближайших звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—**10**, № 2.—С. 68—73.
 20. *Захожай В. А.* Функция масс звезд Галактики // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—**16**, № 2.—С. 153—168.
 21. *Захожай В. А.* Субзвезды — новый класс космических тел // Матер. междунар. междисциплинарной научно-практической конф. «Современные проблемы науки и образования», Керчь, 27 июня — 4 июля 2001 г. — Харьков, 2001.— Ч. 1.—С. 32—33.
 22. *Захожай В. А.* Радиусы и спектры ближайших звезд // Кинематика и физика небес. тел.—2002.—**18**, № 6.—С. 535—552.
 23. *Захожай В. А.* Космические тела Галактики: классификация и эволюция // Вісник астрон. школи.—2002.—**3**, № 2.—С. 81—99.
 24. *Захожай В. А.* Статистические закономерности в звездных системах: Дис. д-ра физ.-мат. наук. — Харьков: ХНУ им. В. Н. Каразина, 2007.—317 с.— Машинопись.
 25. *Захожай В. А., Гнедин Ю. Н., Шахт Н. А.* Вклад пулковской и харьковской астрономических школ в проблему поисков экзопланет и маломассивных темных спутников у звезд // Астрофизика.—2010.—**53**, № 4.—С. 645—664.
 26. *Захожай В. А., Захожай О. В.* Диски вокруг ближайших звезд и субзвезд // Кинематика и физика небес. тел.—2010.—**26**, № 1.—С. 3—30.
 27. *Захожай В. А., Захожай О. В., Видьмаченко А. П.* Особенности моделирования тонких плоских дисков с центральными объектами в зависимости от их пространственного расположения // Кинематика и физика небес. тел.—2011.—**27**, № 3.—С. 54—74.
 28. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф.* Металличности близких звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—**12**, № 2.—С. 20—29.
 29. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф.* Функция распределения металличности близких звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—**13**, № 6.—С. 63—66.
 30. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф., Васильев В. П. и др.* ИК-источники в окрестностях Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—**10**, № 2.— С. 74—85.
 31. *Ииханов Г. В.* Функция светимости звезд умеренной и слабой светимости // Вестн. Ленингр. ун-та.—1976.—№ 7.—С. 151—153.
 32. *Кеонджян В. П., Монин А. С.* Модель гравитационной дифференциации недр

- планет // Докл. АН СССР.—1975.—**220**, № 4.—С. 822—824.
33. Кузьменков С. Г., Сокол И. В. Соячная система: 3б. задач. Навч. посіб. — К.: Вища шк., 2007.—167 с.
34. Марочник Л. С., Сучков А. А. Галактика. — М.: Наука, 1984.—392 с.
35. Мельник А. М. Особенности поля скоростей ОВ ассоциаций и спиральная структура Галактики // Письма в Астрон. журн.—2003.—**29**, № 4— С. 349—355.
36. Мельник А. М., Дамбис А. К., Расторгуев А. С. Периодическая структура поля остаточных скоростей ОВ-ассоциаций // Письма в Астрон. журн.—2001.—**27**, № 8.—С. 611—624.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Павловская Е. Л., Сучков А. А. Исследование точности оценок параметров спиральной структуры Галактики методом численных экспериментов // Астрон. журн.—1980.—**57**, № 2.—С. 280—286.
41. Паренаго П. П. Исследования, основанные на сводном каталоге звездных параллакс ГАИШ // Тр. гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.—1940.—**13**.—С. 59—114.
42. Паренаго П. П. Курс звездной астрономии. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Гос-техиздат, 1954.—476 с.
43. Пинигин Г. И. Телескопы наземной оптической астрометрии: Учеб. пособие. — Николаев: Атолл, 2000.—104 с.
44. Писаренко А. И., Яценко А. А., Захожай В. А. Модель эволюции субзвездных объектов // Астрон. журн.—2007.—**84**, № 8.—С. 675—684.
45. Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. — М.: Наука, 1969.—244 с.
46. Свечников М. А., Тайдакова Т. А. О зависимости масса-спектр для звезд главной последовательности // Астрон. журн.—1984.—**61**, вып. 1.—С. 143—151.
47. Скало Д. М. Спектр звездных масс // Протозвезды и планеты: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982.—Т. 1.—С. 295—320.
48. Слюта Е. Н., Воронаев С. А. Малые и планетные тела Солнечной системы: критическая масса ледяных тел // Астрон. вестн.—1993.—**27**, № 1.—С. 71—82.
49. Старикова Г. А. Функция светимости и цвета звезд // Астрон. журн.—1960.—**37**, вып. 3.—С. 476—491.
50. Сучков А. А. Галактики знакомые и загадочные. — М.: Наука, 1978.—192 с.
51. Сучков А. А., Шекинов Ю. А. Замечание о звездообразовании путем гравитационной фрагментации // Астрон. журн.—1975.—**52**.—С. 662—664.
52. Тутуков А. В. Образование планетных систем в ходе эволюции тесных двойных звезд // Астрон. журн.—1991.—**68**, вып.4.—С. 837—842.
53. Федорова А. В. Эволюция звезд очень малых масс в случае практического твердотельного вращения и дифференциального вращения на стадии гравитационного сжатия к главной последовательности // Науч. информ.—1976.—Вып. 46.—С. 3—21.

54. Федорова А. В., Блинников С. И. Влияние аккреции и вращения на минимальную массу звезды главной последовательности // Науч. информ.—1978.— Вып. 42.—С. 75—94.
55. Ходячих М. Ф., Романовский Е. А. Обнаружение движущихся скоплений методом кинематических пар // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 1.—С. 20—31.
56. Чандрасекар С. Введение в учение о строении звезд. — М.: Изд-во иностр. лит., 1950.—476 с.
57. Шацова Р. Б. Выступление на совещании по вопросам космогонии // Тр. второго совещания по вопросам космогонии (19—22 мая, 1952). — М.: Изд-во АН СССР, 1953.—С. 567—571.
58. Allen P. R., Koerner D. W., Reid I. N., et al. The substellar mass function: A Bayesian Approach // *Astrophys. J.*—2005.—625, N 1.—P. 385—397.
59. Bagnuolo W. G., Taylor S. F., McAlister H. A., et al. First results from the CHARA array. V. Binary Star Astrometry: The Case of 12 Persei // *Astron. J.*—2006.—131, N 5.—P. 2695—2699.
60. Belle G. T., Lane B. F., Thompson R. R., et al. Radii and effective temperatures for G, K, and M giants and supergiants // *Astron. J.*—1999.—117, N 1.—P. 521—533.
61. Bessel M. S., Stringfellow G. S. The faint end of the stellar luminosity function // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1993.—31.—P. 433—471.
62. Bethe H. A. Energy Production in Star // *Phys. Rev.*—1939.—55.—P. 434—456.
63. Bonneau M. Etude de quelques de proprietes cinematiques des etoiles OB // *J. Observ.*—1964.—47.—P. 251—322.
64. Brummelaar T. A., O'Brien D. P., Mason B. D., et al. An interferometric and spectroscopic analysis of the multiple star system HD 193322 // *Astron. J.*—2011.—142, N 1.—P. 21—62.
65. Burrows A., Hubbard W. B., Lunine J. I., et al. The theory of brown dwarfs and extra-solar giant planets // *Revs Mod. Phys.*—2001.—N 73.—P. 719—765.
66. Burrows A., Liebert J. The science of brown dwarfs // *Revs Mod. Phys.*—1993.—65, N 2.—P. 301—336.
67. Cassen P., Guillot T., Quirrenbach A. Extrasolar planets / Eds D. Queloz, S. Udry, M. Mayor, W. Benz. — Springer, 2006.—454 p.
68. Cayrel de Strobel G. The intrinsic width of the zero age main sequence // *Astronomical papers dedicated to Bengt Stromgren; Proceedings of the Symposium, Copenhagen, Denmark, May 30 — June 1, 1978.* — Copenhagen: Copenhagen Univ. Observ., 1978.—P. 205—222.
69. Cayrel de Strobel G., Bentolila C., Hayck B., Duquennoy A. A. Catalogue of [Fe/H] determinations, 1984 edition // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1985.—59, N 1.—P. 145—186.
70. Cervino M., Mas-Hesse J. M. Metallicity effects in star-forming regions // *Astron. and Astrophys.*—1994.—284, N 3.—P. 749—763.
71. Chabrier G., Baraffe I. Theory of low-mass stars and substellar objects // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—2000.—38.—P. 337—372.
72. Chabrier G., Baraffe I., Allard F., et al. Deuterium burning in substellar objects // *Astrophys. J.*—2000.—542.—P. 119—122.
73. Churchwell E., Babler B. L., Meade M. R., et al. The Spitzer/GLIMPSE surveys: A new view of the Milky Way // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—2009.—121, N 877.—P. 213—230.
74. Ciardi D. R., van Belle G. T., Boden A. F., et al. The angular diameter of α Bootis // *Astrophys. J.*—2007.—659, N 2.—P. 1623—1628.

75. Clayton D. D. Principles of stellar evolution and nucleosynthesis. — New York: McGraw-Hill, 1968.—612 p.
76. Cveticovic Z., Ninkovic S. On the component masses of visual binaries // Serbian Astron. J.—2010.—N 180.—P. 71—80.
77. Dame T. M., Ungerchts H., Cohen R. S., et al. A composite CO survey of the entire Milky Way // Astrophys. J.—1987.—**322**, N 2.—P. 706—720.
78. Davis J., Ireland M. J., North J. R., et al. The angular diameter and fundamental parameters of Sirius A // Publ. Astron. Soc. Au.—2011.—**28**, N 1.—P. 58—65.
79. Davis J., Jacob A. P., Robertson J. G., et al. Observations of the pulsation of the Cepheid I Car with the Sydney University Stellar Interferometer // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2009.—**394**, N 3.—P. 1620—1630.
80. De Boer K. S., Seggewiss W. Stars and stellar evolution. — Les Ulis: EDP Sci., 2008.—333 p.
81. Dyck H. M., Benson J. A., van Belle G. T. Radii and effective temperatures for K and M Giants and Supergiants // Astron. J.—1996.—**111**.—P. 1705—1712.
82. Dyck H. M., van Belle G. T., Benson J. A. Angular diameters and effective temperatures of Carbon stars // Astron. J.—1996.—**112**.—P. 294—300.
83. Dyck H. M., van Belle G. T., Thompson R. R. Radii and effective temperatures for K and M Giants and Supergiants. II // Astron. J.—1998.—**116**, N 2.—P. 981—986.
84. Eggen O. J. A the astrometric and kinematic parameters of the Sirius and Hyades superclusters // Astron. J.—1984.—**89**, N 9.—P. 1350—1357.
85. Eggen O. J. The Sirius supercluster in the FK5 // Astron. J.—1992.—**104**, N 4.—P. 1493—1504.
86. Evsukov N. N., Zakhozhaj V. A., Psaryov V. A. Planetary systems of the Galaxy // Odessa Astron. Publ.—2001.—**14**.—P. 205—207.
87. Fischer D.A., Valenti J. The planet-metallicity correlation // Astrophys. J.—2005.—**622**.—P. 1102—1117.
88. Fowler A., Hoyle F. Star formation // Roy. Observ. Bull.—1963.—**67**.—P. 301—320.
89. Francis C., Anderson E. Galactic spiral structure // Proc. Roy. Soc. London A.—2009.—**465**.—P. 3425—3446.
90. Gaustad J. The opacity of diffuse cosmic matter and the early of star formation // Astrophys. J.—1963.—**138**, N 4.—P. 1050—1070.
91. Gliese W. Katalog der Sterne näher als 20 parsek für 1950.0 // Inst. Heidelb. Mitt. A.—1957.—N 8.—S. 1—90.
92. Gliese W. Catalogue of nearby stars. — Karlsruhe: Braun, 1969.—118 p.
93. Gliese W. Smethell's stars nearer than 25 parsecs // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1981.—**44**.—P. 131—135.
94. Gliese W., Jahreiss H. Nearby star data published 1969—1978 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1979.—**38**.—P. 423—448.
95. Gliese W., Jahreiss H. Catalogue of nearby stars: 3-rd Edition. — Data Centre CD-ROM. Selected Astronomical Catalogs, 1993.—Vol. 1.
96. Goldreich P., Linden-Bell D. Gravitational stability of uniformly rotating disk // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1965.—**130**, N 2-3.—P. 97—124.
97. Gould A., Bahcall J. N., Flynn C. Disk M dwarf luminosity function from Hubble space telescope star counts // Astrophys. J.—1996.—**465**, N 2.—P. 759—768.
98. Guillout P., Sterzik M. F., Schmitt J. H. M., et al. Discovery of a late-type stellar population associated with the Gould Belt // Astron. and Astrophys.—1998.—**337**, N 1.—P. 113—124.
99. Guseva N. G., Kolesnic L. N., Metreveli M. D. Stellar statistische Untersuchungen in

- der Sonnenumgebung // *Astron. Nachr.*—1983.—**304**, N 1—S. 41—44.
100. *Henry T. J., McCarthy D. W.* A systematic search for brown dwarfs orbiting nearby stars // *Astrophys. J.*—1990.—**350**, N 1.—P. 334—347.
101. *Hoyle F.* On the fragmentation of gas clouds into galaxies and stars // *Astrophys. J.*—1953.—**118**, N 3.—P. 512—528.
102. *Hubbard W. B.* *Planetary Interiors.* — New York: Van Nostrand Reinhold, 1984.—334 p.
103. *Hubbard W. B., Lunine J. I., Saumon D., et al.* Ignition of deuterium in low-mass brown dwarfs // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1994.—**185**.—P. 9006—9012.
104. *Hummel C. A., Armstrong J. T., Buscher D. F., et al.* Orbits of small angular scale binaries resolved with the Mark III interferometer // *Astron. J.*—1995.—**110**.—P. 376—390.
105. *Jahreiss H., Wielen R.* Leuchtkraftfunktion und Massendichte der sonnenähen Sterne // *Mitt. Astron. Ges.*—1974.—N 35.—P. 212—214.
106. *Jenkins L. F.* *General catalogue of trigonometric stellar parallaxes.* — New Haven: Conn. Gale Univ. Observ., 1952.—260 p.
107. *Jenkins L. F.* *Supplement to the general catalogue of trigonometric stellar parallaxes.* — New Haven: Yall Univ., 1963.—60 p.
108. *Kamp P.* Stars nearer than five parsecs // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1953.—**65**, N 383.—P. 73—77.
109. *Kamp P.* Stars nearer than five parsecs // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1969.—**81**, N 478.—P. 5—10.
110. *Kamp P.* The nearby stars // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1971.—**9**.—P. 103—126.
111. *Kapteyn J. O.* The luminosity curve // *Astron. Nachr.*—1910.—**183**.—P. 312—331.
112. *Kapteyn J. C., Van Rhijn P. J.* On the distribution of the stars in space especially in the high galactic latitudes // *Astrophys. J.*—1920.—**52**.—P. 23—38.
113. *Kervella P., Marand A., Pichon B., et al.* The Radii of the Nearby K5V and K7V stars 61 Cyg A & B — CHARA/FLUOR Interferometry and CESAM2k Modeling // *Astron. and Astrophys.*—2008.—**488**.—P. 667.
114. *Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Roser S., et al.* Astrophysical parameters of Galactic open clusters // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**438**, N 3.—P. 1163—1173.
115. *Kirkpatrick J. D., Reid I. N., Liebert J., et al.* Dwarfs cooler than «M»: The definition of spectral type «L» using discoveries from the 2 Micron All-Sky Survey (2MASS) // *Astrophys. J.*—1999.—**519**.—P. 802—833.
116. *Kroupa P.* The initial mass function of stars: Evidence for uniformity in variable systems // *Science*.—2002.—**295**, N 5552.—P. 82—91.
117. *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.
118. *Kroupa P., Weidner C.* Variations of the IMF // *Astrophys. and Space Sci. Lib.*—2005.—**327**.—P. 175—188.
119. *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.
120. *Kuiper G. P.* The nearest stars // *Astrophys. J.*—1942.—**95**.—P. 201—212.
121. *Kumar S. S.* The structure of stars of very low mass // *Astrophys. J.*—1963.—**137**, N 4.—P. 1121—1125.
122. *Lallement R.* Observations of the Local Interstellar Cloud // *Proc. IAU Coll.*—1998.—N 166.—P. 19—28.
123. *Lallement R., Welsh B. Y., Vergely J. L., et al.* 3D mapping of the dense interstellar gas

- around the Local Bubble // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**411**.—P. 447—464.
124. *Lane B. F., Boden A. F., Kulkarni S. R.* Interferometric measurement of the angular sizes of dwarf stars in the spectral range K3—M4 // *Astrophys. J.*—2001.—**551**.—P. 81—83.
125. *Lepine L.* Nearby stars from the Lspm-north proper-motion catalog. I. Main-sequence, dwarfs and giants within 33 parsecs of the Sun // *Astron. J.*—2005.—**130**.—P. 1680—1692.
126. *Levine E. S., Blitz L., Heiles C.* The spiral structure of the outer Milky Way in Hydrogen // *Science*.—2006.—**312**, N 5781.—P. 1773—1777.
127. *Lindblad P. O.* On the rotation of Gould's Belt // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**363**, N 1.—P. 154—158.
128. *Low C., Linden-Bell D.* The minimum Jeans mass or when fragmentation must stop // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1976.—**176**, N 2.—P. 367—390.
129. *Luck R. E., Heiter U.* Stars within 15 parsecs: Abundances for a northern sample // *Astron. J.*—2005.—**129**.—P. 1063—1083.
130. *Luyten W. J.* On distribution of absolute magnitudes in the vicinity of the Sun // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1938.—**98**, N 8.—P. 677—680.
131. *Luyten W. J.* The stars of large proper motion and the luminosity function // *Publs Observ. Minnesota, II.*—1939.—N 7.—P. 121—159.
132. *Luyten W. J.* A new determination of the luminosity function // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1968.—**139**.—P. 221—224.
133. *Lynden-Bell D.* Dynamical structure and evolution of stellar systems. — Saas Fee: Geneva Observ, 1987.—317 p.
134. *Makarov V. V.* The 100 brightest X-ray stars within 50 parsecs of the Sun // *Astron. J.*—2003.—**126**, N 4.—P. 1996—2003.
135. *Mamajek E. E., Meyer M., Liebert J.* Post-T Tauri stars in the nearest OB association // *Astron. J.*—2002.—**124**, N 3.—P. 1670—1694.
136. *Martin E. L., Basri G., Delfosse X., et al.* Keck HIRES spectra of the brown dwarf DENIS-P J1228.2-1547 // *Astron. and Astrophys. Letter.*—1997.—**327**.—P. L29—L32.
137. *McAlister H. A., Brummelaar T. A., Gies D. R., et al.* First results from the CHARA array. I. An interferometric and spectroscopic study of the fast rotator α Leonis (Regulus) // *Astrophys. J.*—2005.—**628**.—P. 439—452.
138. *McCuskey S. W.* The stellar luminosity function // *Vistas in astronomy.*—1965.—**7**.—P. 141—171.
139. *Miyamoto M., Soma M., Yoshizawa M.* Is the vorticity vector of the Galaxy perpendicular to the galactic plane? II. Kinematics of the galactic warp // *Astron. J.*—1993.—**105**, N 6.—P. 2138—2147.
140. *Mondal S., Chandrasekhar T.* Angular diameter measurements of evolved variables by lunar occultations at 2.2 and 3.8 microns // *Astron. J.*—2010.—**130**, N 2.—P. 842—852.
141. *Monnier J. D., Zhao M., Pedretti E., et al.* Imaging the surface of Altair // *Science*.—2007.—**317**.—P. 342.
142. *Mozurkewich D., Armstrong J. T., Hindsley R. B.* Angular diameters of stars from the Mark III optical interferometer // *Astron. J.*—2003.—**126**.—P. 2502—2520.
143. *North J. R., Davis J., Bedding T. R.* The radius and mass of the subgiant star ν Hyi from interferometry and asteroseismology // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. Lett.*—2007.—**380**, N 1.—P. L80—L83.
144. *North J. R., Davis J., Tuthill P. G., et al.* Orbital solution and fundamental parameters of σ Scorpii // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2007.—**380**, N 3.—P. 1276—1284.

145. *Olano C. A.* On a model of local gas related to Gould's belt // *Astron. and Astrophys.*—1982.—**112**, N 1.—P. 195—208.
146. *Olano C. A.* The origin of the local system of gas and stars // *Astron. J.*—2001.—**121**.—P. 295—308.
147. *Oort J. H.* Observational evidence confirming Lindblad's hypothesis of a rotation of the galactic system // *Bull. Astron. Inst. Neth.*—1927.—**3**.—P. 275—282.
148. *Oppenheimer B. R., Golimowski D. A., Durrance S. T.* A coronagraphic survey for companions of stars within 8 parsecs // *Astron. J.*—2001.—**121**.—P. 2189—2211.
149. *Perrot C. A., Grnner I. A.* 3D dynamical evolution of the interstellar gas in the Gould Belt // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**404**.—P. 519—531.
150. *Perry C. L., Johnson L.* A photometric map of interstellar reddening within 300 parsecs // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1982.—**50**.—P. 451—515.
151. *Perry C. L., Johnson L., Crawford D. L.* A photometric map of interstellar reddening within 100 pc // *Astron. J.*—1982.—**87**.—P. 1751—1774.
152. *Phan-Bao N., Crifo F., Delfosse X., et al.* New neighbors V. 35 DENIS late-M dwarfs between 10 and 30 parsecs // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**401**.—P. 959—974.
153. *Piskunov A. E., Kharchenko N. V., Roser S., et al.* Revisiting the population of Galactic open clusters // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**445**, N 2.—P. 545—565.
154. *Poppel W. G. L., Marronetti P.* The kinematical characteristics of the CNM at $|b| \geq 10^\circ$ and the hypothesis of a local explosive event // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**358**, N 1.—P. 299—309.
155. *Publications of United States Naval Observatory: 2d ser.* — Washington, 1970.—Vol. 20, part 3.
156. *Publications of United States Naval Observatory: 2d ser.* — Washington, 1972.—Vol. 20, part 6.
157. *Publications of United States Naval Observatory: 2d ser.* — Washington, 1975.—Vol. 24, part 1.
158. *Publications of United States Naval Observatory: 2d ser.* — Washington, 1976.—Vol. 24, part 3.
159. *Publications of United States Naval Observatory: 2d ser.* — Washington, 1983.—Vol. 24, part 7.
160. *Redfield S., Linsky J. L.* The three-dimensional structure of the warm local interstellar medium. II. The Colorado model of the local interstellar cloud // *Astrophys. J.*—2000.—**534**, N 2.—P. 825—837.
161. *Rees M. J.* Opacity-limited hierarchical fragmentation and the masses of protostars // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1976.—**176**, N 3.—P. 483—486.
162. *Reid I. N., Cruz K. L., Burgasser A. J., et al.* L-dwarf binaries in the 20-parsec sample // *Astron. J.*—2008.—**135**.—P. 580—587.
163. *Reid I. N., Gizis J. E.* Low-mass binaries and the stellar luminosity function // *Astron. J.*—1997.—**113**, N 6.—P. 2246—2259.
164. *Richichi A., Calamai G.* Infrared high angular resolution measurements of stellar sources. V. Angular diameters of ten late-type stars // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**380**.—P. 526—532.
165. *Richichi A., di Giacomo A., Lisi F., et al.* Accurate angular diameter and effective temperature of seven late-type stars // *Astron. and Astrophys.*—1992.—**265**, N 2.—P. 535—546.
166. *Richichi A., Lisi F., di Giacomo A.* Lunar occultations of southern near infrared stellar sources // *Astron. and Astrophys.*—1992.—**254**, N 1.—P. 149—166.
167. *Richichi A., Percheron I.* First results from the ESO VLTI calibrators program // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**434**.—P. 1201—1209.

168. *Richichi A., Percheron I., Davis J.* A list of bright interferometric calibrators measured at the European Southern Observatory Very Large Telescope Interferometer // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2009.—**399**, N 1.—P. 399—409.
169. *Richichi A., Ragland S., Fabbroni L.* Infrared high angular resolution measurements of stellar sources. III. Angular diameters and effective temperatures of eleven late-type giants // *Astron. and Astrophys.*—1998.—**330**.—P. 578—584.
170. *Richichi A., Ragland S., Stecklum B., et al.* Infrared high angular resolution measurements of stellar sources. IV. Angular diameters and effective temperatures of fifteen late-type stars // *Astron. and Astrophys.*—1998.—**338**.—P. 527—534.
171. *Salaris M., Cassisi S.* Evolution of stars and stellar populations. — England: John Wiley & Sons Ltd., 2005.—389 p.
172. *Salpeter E. E.* The luminosity function and stellar evolution // *Astrophys. J.*—1955.—**121**.—P. 161—167.
173. *Schlesinger F.* General catalogue of stellar parallaxes // *Yale Univ. Observ.*—1924.—57 p.
174. *Schlesinger F., Jenkins L.* General catalogue of stellar parallaxes // *Yale Univ. Observ.*—1935.—196 p.
175. *Seares F. H.* The form of the luminosity function // *Astrophys. J.*—1924.—**59**.—P. 310—338.
176. *Sfeir D. M., Lallement R., Grifo F., et al.* Mapping the contours of the Local Bubble: preliminary results // *Astron. and Astrophys.*—1999.—**346**, N 3.—P. 785—797.
177. *Shu F. H., Adams F. C., Lizano S.* Star formation in molecular clouds. Observation and theory // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1987.—**25**.—P. 23—81.
178. *Silk J.* On the fragmentation of cosmic gas clouds. II. Opacity-limited starformation // *Astrophys. J.*—1977.—**214**, N 1.—P. 152—160.
179. *Sion E. M., Holberg J. B., Oswalt T. D., et al.* The white dwarfs within 20 parsecs of the Sun: Kinematics and statistics // *Astron. J.*—2009.—**138**.—P. 1681—1689.
180. *Smith R. K., Cox D. P.* Multiple supernova remnant models of the Local Bubble and the soft X-ray background // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2001.—**134**, N 2.—P. 283—309.
181. *Stahler S. W.* Deuterium and the stellar birthline // *Astrophys. J.*—1988.—**332**.—P. 804—825.
182. *Stern S. A., Levinson H. F.* Regarding the criteria for planethood and proposed planetary classification schemes // *Highlights Astron.*—2002.—**12**.—P. 205—213.
183. *Stevenson D. J.* Brown and black dwarfs — their structure, evolution and contribution to the missing mass // *Publs Astron. Soc. Au.*—1978.—**3**.—P. 227—228.
184. *Stevenson D. J.* High mass planets and low mass stars. Astrophysics of brown dwarfs // *Proc. Second George Mason Fall Workshop in Astrophysics, Fairfax, Va., USA, 14—15 October 1985.* — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1986.—P. 218—232.
185. *Stevenson D. J.* The search for brown dwarfs // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1991.—**29**.—P. 163—193.
186. *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.
187. *Stothers R., Frogel J. A.* The local complex of O and B stars. I. Distribution of stars and interstellar dust // *Astron. J.*—1974.—**79**.—P. 456—471.
188. *Tango W. J., Davis J., Jacob A. P., et al.* A new determination of the orbit and masses of the Be binary system δ Scorpii // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2009.—**396**, N 2.—P. 842—848.
189. *Tarter J.* Interaction of gas and galaxies within galaxy clusters: Ph. D. thesis. — Berkeley, Univ. Calif., 1975.—281 p.

190. *Tej A., Chandrasekhar T.* Angular diameter and effective temperature of a sample of 15 M giants at 2.2 μm from lunar occultation observations // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2010.—**317**, N 3.—P. 687—696.
191. *The HIPPARCOS and TYCHO catalogues / Sci. Coord. M. A. C. Perryman.* — Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 1997.—In 16 vol.
192. *Tinney C. G., Reid I. N., Gizis J., et al.* Trigonometric Parallaxes and the HR Diagram at the Bottom of the Main Sequence // *Astron. J.*—1995.—**110**.—P. 3014—3034.
193. *Tinsley B. M.* Evolutions of the stars and gas in galaxies // *Fund. Cosm. Phys.*—1980.—**5**, N 4.—P. 287—388.
194. *Udry S., Eggenberger A., Mayor M., et al.* Planets in multiple-star systems: properties and detections // *RevMexAA (Serie de Conferencias)*.—2004.—**21**.—P. 207—214.
195. *Valenti J. A., Fischer D. A.* Spectroscopic properties of cool stars (SPOCS). I. 1040 F, G, and K Dwarfs from Keck, Lick, and AAT planet search programs // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2005.—**159**.—P. 141—166.
196. *Van den Hoek L. B.* On the chemical and spectro-photometric evolution of nearby galaxies. — Amsterdam, the Netherlands: Astron. Institute “Anton Pannekoek”, 1997.—292 p.
197. *Vogt H.* Die Leuchtkraft-Masse-Beziehung der Sterne // *Astron. Nachr.*—1928.—**233**.—S. 13—14.
198. *Weigelt G., Mourard D., Abe L., et al.* GI2T/REGAIN spectro-interferometry with a new infrared beam combiner // *Proc. SPIE.*—2000.—**4006**.—P. 617—626.
199. *Westin T. N. G.* The local system of early type stars. Spatial extent and kinematics // *Astropys. J. Suppl. Ser.*—1985.—**60**, N 1.—P. 99—134.
200. *White N. M., Feierman B. H.* A catalog of stellar angular diameters measured by lunar occultation // *Astron. J.*—1987.—**94**.—P. 751—770.
201. *Wichmann R., Schmitt J. H. M. M., Hubrig S.* Nearby young stars // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**399**, N 2.—P. 983—994.
202. *Wooley R. Pocock S. B., Epps E. A., Flinn R.* Catalogue of stars within twenty-five parsecs of the Sun // *Roy. Observ. Bull.*—1970.—N 5.—228 p.
203. *Zakhozaj V. A.* The distribution of multiple systems in the neighborhood of the Sun // *Astron. and Astrophys. Transact.*—1995.—**7**.—P. 167—170.
204. *Zakhozaj 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.
205. *Zakhozaj V. A.* Evidence of recent changes in the local Galactic IMF of stars and substars // *Astrophys. and Space Sci.*—2008.—**315**.—P. 13—19.
206. *Zapolsky H. S., Salpeter E. E.* The mass-radius relation for cold spheres of low mass // *Astrophys. J.*—1969.—**158**.—P. 809—813.
207. *Zuckerman B., Song I.* The minimum jeans mass, brown dwarf companion IMF, and predictions for detection of Y-type dwarfs // *Astron. and Astrophys.*—2009.—**493**, N 3.—P. 1149—1154.

Статья поступила в редакцию 16.01.12