

ОБЗОРЫ

ПОЯС ГУЛДА

В. В. БОБЫЛЕВ^{1,2}

Поступила 24 июня 2014

Принята к печати 19 сентября 2014

Обзор посвящен проблемам, связанным с изучением пояса Гулда и Местной системы. В свете того, что пояс Гулда является ближайшим к Солнцу гигантским звездно-газовым комплексом, дана характеристика его звездной составляющей, входящих в него звездных ассоциаций и рассеянных скоплений, холодного атомарного, молекулярного, а также высокотемпературного коронарного газа и пыли. Затронуты вопросы, связанные с кинематическими особенностями пояса Гулда, рассмотрены наиболее интересные сценарии его происхождения и эволюции.

Ключевые слова: пояс Гулда; характеристика его звездной составляющей

1. *Исторические сведения.* Звезды спектральных классов O и B, видимые невооруженным глазом, определяют два больших круга на небесной сфере. Один из них проходит вблизи плоскости Млечного Пути, второй расположен к ней под небольшим наклоном, и известен как пояс Гулда. Наименьшей галактической широты звезды пояса Гулда достигают в районе созвездия Ориона, а наибольшей - в районе Скорпиона-Центавра.

Уже Гершелем [1] было отмечено, что часть ярких звезд южного неба расположена в виде отдельной структуры Млечного Пути с наклоном к галактическому экватору около 20° . Независимо от него Струве [2], комментируя особенности распределения звезд Млечного Пути, отмечал, что образующие на небесной сфере наибольшие сгущения звезды могут лежать в двух плоскостях со взаимным наклоном около 10° .

Гулдом [3,4] было выполнено детальное изучение этой структуры, определены галактические координаты полюса большого круга небесной сферы, вдоль которого группируются звезды, а также координаты узлов. Им было найдено значение наклона основной плоскости звезд до 4° к галактическому экватору равное 17° . Благодаря его работам, закрепился термин "пояс Гулда".

Шепли [5] дал отчетливую формулировку того, что в отличие от далеких шаровых скоплений, обрисовывающих Галактику, близкие (до 1 кпк) яркие звезды образуют своеобразную отдельную подсистему типа

местного скопления или местной системы. По его предложению это сгущение близких ярких В-звезд стали называть Местной системой.

С современной точки зрения термин "Местная система" представляется более содержательным, так как подразумевает принадлежность к рассматриваемой структуре не только отдельных близких звезд различных спектральных классов, но и систему близких звездных ассоциаций и рассеянных скоплений, наличие холодного атомарного, HI, молекулярного, H₂, а также высокотемпературного коронарного газа и пыли.

С появлением первых данных о лучевых скоростях, собственных движениях и расстояниях звезд был выявлен ряд кинематических особенностей ярких звезд спектральных классов O и B. Во-первых, было обнаружено наличие постоянного члена с величиной около +5 км/с. Впервые эта особенность была замечена Фростом и Адамсом в 1903г. и подтверждена Каптейном и Фростом [6] из анализа лучевых скоростей "Орионовых" звезд. По предложению Кэмпбелла [7], этот член стали называть К-членом или К-эффектом. Наличие положительного К-члена в основном интерпретируется как общее расширение звездной системы [8,9], и лишь небольшая его доля (≈ 1.5 км/с) может быть объяснена смещением спектральных линий в красную сторону спектра из-за гравитации массивных звезд, согласно теории относительности. Во-вторых, было показано, что для распределения остаточных скоростей O и B-звезд характерны малая дисперсия остаточных скоростей с величиной ≤ 10 км/с, а также заметное отклонение вертекса $20 \div 30^\circ$ от направления на центр Галактики [10,11,12].

На изучение структуры и кинематики Галактики существенную роль оказали работы Линдблада [13,14] и Оорта [15,16]. Было окончательно установлено наличие межзвездного поглощения света [17]; усилиями многих авторов развиты модели звездной эволюции; открыты O и T-ассоциации [18,19].

Все это в итоге привело к пониманию, что звезды, принадлежащие поясу Гулда, являются не только близкими, но и очень молодыми объектами, моложе ≈ 60 млн. лет, принимающими участие в дифференциальном вращении Галактики, причем их галактические орбиты близки к круговым. В ряде работ было показано, что наблюдаемые остаточные скорости звезд пояса Гулда можно интерпретировать либо как остаточное вращение всей системы, либо как совместный эффект вращения и расширения.

История ранних этапов изучения пояса Гулда отражена в монографии Бока [20]. Последовательное изложение ключевых вопросов, связанных с изучением пояса Гулда, с подробным библиографическим списком, можно найти в работах Фрогея, Стозерса [21], Ефремова [22] и Поппеля [23].

2. *Структура.* Пояс Гулда является ближайшим к Солнцу гигантским звездно-газовым комплексом. Подобные комплексы являются областями

активного звездообразования и наблюдаются не только в нашей Галактике [24], но и в других галактиках [22,25].

По современным оценкам пояс Гулда - это достаточно плоская система с полуосями $\approx 350 \times 250 \times 50$ пк, имеет наклон к галактической плоскости величиной $16 \pm 22^\circ$. Восходящий узел имеет направление $l_\Omega = 275^\circ \pm 295^\circ$. Солнце находится на расстоянии около 40 пк от линии узлов. Центр системы расположен на расстоянии около 150 пк во втором галактическом квадранте. Более точное значение направления на центр l_c зависит от возраста выборки, и по различным оценкам составляет от 130° до 180° .

Пространственное распределение звезд очень неравномерное - в радиусе ≈ 80 пк от центра наблюдается заметное падение их плотности, т.е. вся система имеет вид бублика. Ближе к центру этого бублика находится известное рассеянное скопление α Per (Melotte 20), возраст которого составляет около 35 млн. лет.

2.1. *Звездный состав.* Как отмечено Поппелем [26], можно уверенно говорить о принадлежности к поясу Гулда только относительно близких звезд не позднее спектрального класса B2.5. Однако их очень мало. Чтобы отнести к нему звезды других спектральных классов требуются разнообразные методы, позволяющие разделять звезды различных популяций, населяющих околосолнечную окрестность. В последнее десятилетие активно используются результаты космических рентгеновских наблюдений со спутников ROSAT¹, Chandra² и XMM-Newton³, наземных фотометрических в инфракрасном диапазоне 2MASS [27], а также астрометрических каталогов HIPPARCOS [28] и Tycho-2 [29].

Торрой и др. [30] выполнен анализ обширной выборки звезд HIPPARCOS спектральных классов O и B, расположенных от Солнца в радиусе $r < 2.0$ кпк. Для 2864 звезд оценивался индивидуальный возраст звезд на основе фотометрии Стремгрена. Относительная ошибка определения возраста для 88% звезд выборки оказалась меньше 100%. Был сделан вывод о том, что в радиусе $r \leq 0.6$ кпк около 60% рассмотренных звезд моложе 60 млн. лет принадлежат поясу Гулда.

В работе Шерёля и др. [31] получены оценки возраста 1077 близких ($r < 0.125$ кпк) звезд HIPPARCOS спектральных классов A и F на основе фотометрии Стремгрена. Средняя ошибка определения возраста составила около 30%, а для наиболее молодой фракции она достигла 100%. Распределение AF-звезд в зависимости от возраста имеет два пика: подавляющее большинство звезд сосредоточено в окрестности пика 650 млн. лет, около 400 звезд - в

¹ ROentgen SATellite, работал в период 1990-1999гг.

² Рентгеновский телескоп, работающий на орбите с 1998г.

³ Рентгеновский телескоп, работающий на орбите с 1999г.

окрестности пика 10 млн. лет. Можем сделать вывод о том, что 20 - 30% близких АF-звезд могут принадлежать поясу Гулда. Эта оценка находится в согласии с более ранним результатом Тэйлора и др. [32].

В близких ассоциациях и рассеянных скоплениях, входящих в пояс Гулда, обнаружено несколько сотен звезд типа Т Тельца. Это карлики поздних спектральных классов с массой $\approx 1M_{\odot}$ и возрастом несколько миллионов лет, не достигшие стадии Главной последовательности. Выявляются также звезды по излучению в линии $H\alpha$, содержанию лития, рентгеновскому излучению, положению на диаграмме Гершшпрунга-Рессела, быстрому осевому вращению ($v \sin i \approx 30$ км/с и более), а также кинематическим характеристикам.

Рентгеновское излучение в диапазоне 0.18-0.3 кэВ (ROSAT) позволяет регистрировать источники с температурой меньше 10^6 К (приблизительно позже G0 для звезд Главной последовательности). Значительное содержание лития свидетельствует о том, что уже образовавшаяся звезда находится на непродолжительной стадии, когда термоядерные реакции еще не начались. Таким образом, чем больше лития, тем звезда моложе. Сопоставление положения этих звезд на диаграмме Гершшпрунга-Рессела с подходящими изохронами позволяет выбрать наиболее молодые объекты. Связь между содержанием лития, возрастом и кинематикой ближайших молодых карликов продемонстрирована в работе Вихмана и др. [33].

На рис.1 дан пример отбора кандидатов в звезды типа Т Тельца из ассоциации Скорпиона-Центавра по данным работы [34]. На левом графике кандидаты отмечены открытыми кружками и крестиками, на правом графике кандидаты отмечены темными кружками.

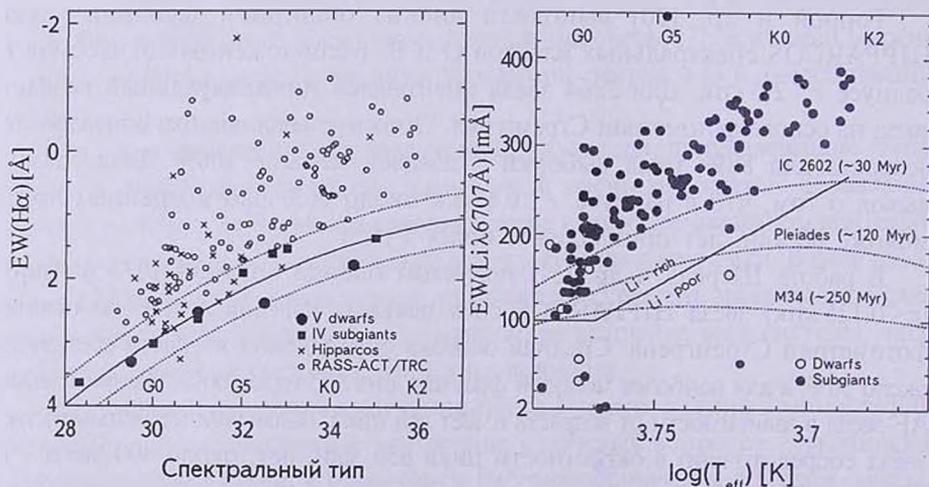


Рис.1. Пример отбора кандидатов в звезды типа Т Тельца из ассоциации Скорпиона-Центавра с использованием данных об эквивалентной ширине (EW): эмиссионной линии $H\alpha$ в зависимости от спектрального класса (слева) и линии поглощения Li I λ 6707 Å в зависимости от эффективной температуры (справа) по данным Мамаека и др. [34].

Звезды типа Т Тельца делят на несколько категорий: классические (CTTS, Classical T Tauri Stars) - это наиболее молодые объекты с возрастом менее 10 млн. лет, у них еще сохраняется пылевой диск; звезды с менее выраженными характеристиками (WTTS, Weak-Line T Tauri Stars) - уже старше и располагаются ближе к Главной последовательности; а также наиболее старые звезды этого типа (PTTS, Post-T Tauri Stars).

Представляют интерес и очень молодые массивные звездообразные сгущения с эмиссионным спектром - объекты Херbiga-Аро (широкий класс звезд обозначаются как HAeBe), которые также находятся на стадии звезд, не достигших Главной последовательности. В близких OB-ассоциациях, связанных с поясом Гулда, их обнаружено около десятка [35].

Отметим, что зафиксировано около 40 неотожествленных источников γ -излучения, с энергией выше 100 МэВ (прибор EGRET на борту CGRO¹), распределение которых имеет статистическую связь с поясом Гулда, однако, природа этих источников пока не ясна.

2.1.1. Движущиеся группы и рассеянные скопления звезд. Рассеянные скопления звезд (РСЗ) располагаются в широкой области солнечной окрестности, имеют надежные оценки расстояния и возраста, поэтому представляют большой интерес для изучения кинематики Галактики, пояса Гулда в частности. Появление каталогов HIPPARCOS и Tycho-2 позволило достаточно точно определять средние значения собственных движений РСЗ. Использование этих данных совместно с лучевыми скоростями позволяет выполнять трехмерный кинематический анализ.

Интерес представляет каталог COCD [36], имеющий полноту вплоть до $r = 0.8$ кпк. На основе каталога COCD была решена задача по выделению из общего фона РСЗ, принадлежащих поясу Гулда. Были использованы РСЗ с возрастом моложе 80 млн. лет. В итоге получена выборка из 23 РСЗ, вероятность принадлежности к поясу Гулда для которых оценена как $P_i = 68\%$, расположены они в радиусе $r < 0.5$ кпк. Значение P_i определялось на основе кинематики РСЗ.

Есть несомненные признаки того, что недавно обнаруженные близкие очень молодые РСЗ и движущиеся группы β Pic, TWA, Tuc/Hor, η Cha и ϵ Cha, также принадлежат поясу Гулда, являясь членами ассоциации Скорпиона-Центавра либо ее рассеянной короны. В предположении о том, что звезды РСЗ образовались одновременно, удастся определить возраст РСЗ путем сопоставления положения звезд на диаграмме Гершпрунга-Рессела с подходящими изохронами.

Как показано в работах [37,38], применение известного метода групповых параллаксов позволяет определять для звезд близких (расположенных не

¹ Compton Gamma-Ray Observatory, спутник работал в период 1991-2000гг.

далее 150 пк от Солнца) РСЗ, таких как Гиады, индивидуальные расстояния точнее, чем по параллаксам HIPPARCOS. Это, в свою очередь, позволяет "улучшить" вид диаграммы Герцшпрунга-Рессела.

Согласно современным представлениям, молодые рассеянные скопления звезд, являющиеся компактными, гравитационно связанными системами, входят в состав структур большего пространственного масштаба - в состав ассоциаций.

2.1.2. Звездные ассоциации. С появлением первых данных о спектральных классах ярких звезд многочисленными исследователями были выделены хорошо выраженные группировки звезд спектральных классов О и В, которые впоследствии, по предложению Амбарцумяна [18], стали называть ассоциациями.

Гипотеза о низкой пространственной плотности, и как следствие, динамической неустойчивости ассоциаций в поле приливных сил Галактики, также впервые была высказана Амбарцумяном [19]. Его оценки показали, что ассоциация должна рассеиваться не дольше, чем за $10^3 - 10^9$ лет. Как показано Блау [39], дифференциальное вращение Галактики приводит к тому, что расширяющаяся ассоциация, имевшая первоначально сферическую форму, вытягивается в эллипс, ориентация которого изменяется со временем.

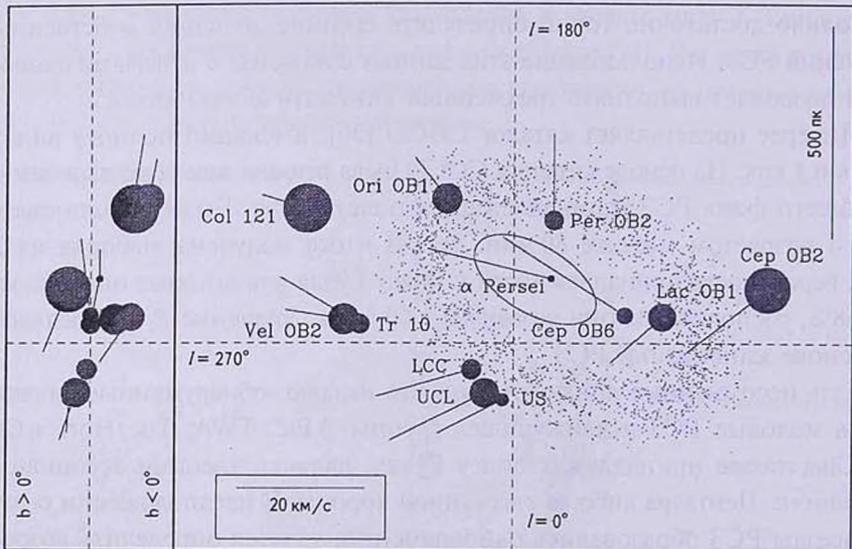


Рис.2. Пространственное распределение близких ОБ-ассоциаций в проекции на галактическую плоскость. Крутами отмечены размеры ассоциаций. Указаны векторы остаточных скоростей относительно местного стандарта покоя, освобожденные от дифференциального вращения Галактики. Рисунок взят из работы [42]. Эллипсом вокруг РСЗ α Per отмечена ассоциация Cas-Тав. Облаком точек схематично представлена модель пояса Гулда по Олано [44].

Ближайшей к Солнцу является ассоциация Скорпиона-Центавра. Первая оценка кинематического возраста этой ассоциации ≈ 20 млн. лет, была получена Блау [40] из анализа лучевых скоростей звезд, с использованием найденного им коэффициента расширения $K = 50$ км/с/кпк. Этот возраст соответствует времени, за которое звезда пробегает характерный радиус области, занимаемой ассоциацией. Критический обзор моделей образования ассоциации Скорпиона-Центавра можно найти в работе [41]. Ассоциации являются молодыми системами с продолжающимся процессом звездообразования. Ближайшие ассоциации представляют несомненный интерес для изучения пояса Гулда.

Подробное описание известных ОБ-ассоциаций в радиусе ≈ 1.5 кпк, и в том числе принадлежащих структуре пояса Гулда, с приложением отобранных звезд HIPPARCOS - их вероятных членов, представлен в работе Зева и др. [42]. В этот список вошли следующие ассоциации: Ser OB2, Lac OB1, Ser OB6, Per OB2, Cas-Tau, Sco-Cen (US, UCL, LCC), Tr 10, Vel OB2 и Col 121. Описание и звездный состав ассоциации Ori OB1 можно найти в работе Брауна и др. [43]. Распределение перечисленных ассоциаций в галактической плоскости показано на рис.2.

Как показано в работах [45,22], ОБ-ассоциации и молодые скопления (B2 и моложе) в пределах 3 кпк от Солнца могут быть объединены в комплексы с размерами 150-700 пк. Почти все из них содержат гигантские молекулярные облака с массой $\geq 10^4 M_{\odot}$. Многие из комплексов связаны с гигантскими облаками нейтрального водорода. В комплексах наблюдается иерархическая структура. Пояс Гулда - один из гигантских комплексов.

2.1.3. Местная система звезд, Сверхскопление, Сверхкомплекс. Согласно Минеру [46,47], Местная система звезд, помимо участия в общем галактическом вращении, выказывает признаки вращения вокруг центра, не совпадающего с центром Галактики. На более обширном материале эта идея была проверена в работе Шацовой [48]. Ею было найдено собственное вращение Местной системы, совпадающее по направлению с галактическим. При этом Местная система рассматривалась как совокупность всех близких звезд. Задача по разделению ≈ 33000 звезд смешанного спектрального состава каталога Босса на фракции (по признаку участия в галактическом вращении) не ставилась. Поэтому, как отмечено Шацовой, полученные ею результаты носили предварительный характер. Размер анализируемой области пространства, задаваемой каталогом Босса, оценивался в 300-350 пк. Кинематике и динамике Местной системы уделено заметное место в монографии Огородникова [9].

Дальнейшее изучение Местной системы звезд на основе уравнений Шацовой было проведено Цветковым [49,50,51]. Во-первых, он показал, что систематические ошибки каталогов GC, N30, FK4 и FK5 не приводят

к существенным различиям в получении параметров Местной системы звезд. Во-вторых, с помощью данных из каталога HIPPARCOS им были получены решения отдельно для групп звезд, разбитых по спектральным классам и по удаленности от Солнца. В итоге удалось локализовать Местную систему на диаграмме Герцшпрунга-Рессела как систему звезд спектральных классов А-F Главной последовательности, обращающуюся около центра, расположенного в направлении $l = 253^\circ \div 9^\circ$; $b = -13^\circ \div 9^\circ$ на расстоянии 180 пк от Солнца. Вращение происходит против часовой стрелки, т.е. в обратную сторону по отношению к вращению Галактики с периодом около 140 млн. лет в плоскости, наклоненной к плоскости Галактики на 30° . На расстоянии свыше 300 пк от Солнца эффект Местной системы звезд в движениях звезд не обнаруживается.

Идея Сверхскопления разрабатывалась в работах Эггена [52,53]. Эгген объединяет несколько достаточно молодых скоплений в группу Плеяд (возраст 100-150 млн. лет) на основании близости их кинематики и называет эту группу "Местной ассоциацией". Для отбора членов ассоциации были использованы пространственные скорости звезд, для вычисления которых требуются высокоточные параллаксы. Складывается ощущение, что группа отобрана не вполне корректно. Действительно, в те годы имелись высокоточные тригонометрические параллаксы только для очень малой окрестности Солнца ≈ 50 пк, поэтому были использованы только ближайšie звезды. Списки Эггена для членов группы Плеяд, термин Местная ассоциация в настоящее время применяются, например, в работах [54,55].

В работе Бархатовой и др. [56] были проанализированы свойства ряда близких к Солнцу одиночных РСЗ различного возраста, а также некоторых комплексов РСЗ, и высказана гипотеза о принадлежности их к системе более высокого порядка - Сверхкомплексу. Диаметр Сверхкомплекса составил 2000 пк, его толщина 150 пк, к нему было отнесено 11 комплексов РСЗ и 4 одиночных РСЗ. Было показано, что Сверхкомплекс имеет остаточное вращение с угловой скоростью ≈ 12 км/с/кпк в том же направлении, что и вращение Галактики.

Сверхкомплекс имеет размеры, сопоставимые с рукавом Ориона. Идея о том, что пояс Гулда является частью рукава Ориона обсуждается достаточно давно, но наиболее законченное свое выражение она нашла в динамической модели Олано [44], о которой подробнее будет сказано в разделе 3.3.

2.2. Межзвездная среда.

2.2.1. *Нейтральный водород HI.* Уже анализ ранних наблюдений нейтрального водорода на волне 21 см показал, его распределение имеет связь с поясом Гулда [57,58].

В работах Линдблада [59,60] было показано, что в движении близких водородных облаков имеется такая же кинематическая особенность как у пояса Гулда - эффект общего расширения. Это нашло подтверждение в работах других авторов. Линдбладом была выделена и изучена область, обозначенная им как "деталь А", которую еще называют рингом Линдблада. Пространственные размеры ринга составляют $\approx 800 \times 500$ пк [61], центр его лежит во втором галактическом квадранте - близко к предполагаемому центру пояса Гулда. Отсюда следует, что пояс Гулда окружен гигантским облаком нейтрального водорода.

2.2.2. Молекулярные облака H_2 и зоны HII Непосредственное изучение распределения молекулярного водорода в Галактике затруднено тем, что в радиодиапазоне отсутствуют линии его излучения. Имеется надежный косвенный способ, основанный на относительном содержании

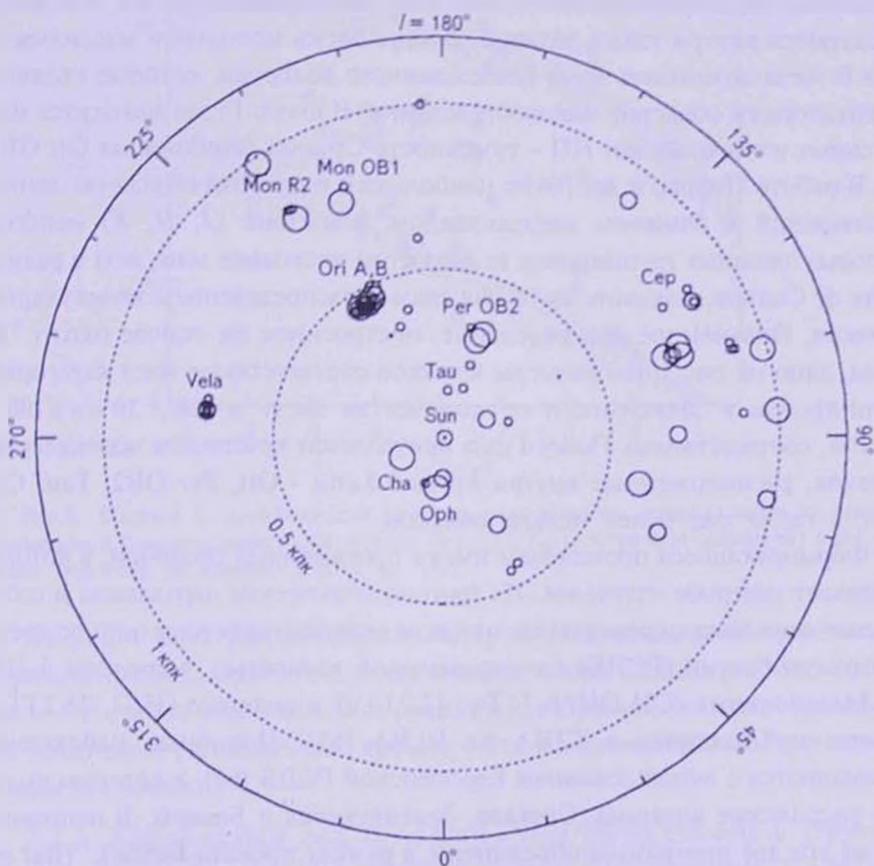


Рис.3. Пространственное распределение молодых звездных групп и РСЗ в радиусе 1 кпк от Солнца по данным Поррас и др. [64], поименованы крупные комплексы молекулярных облаков.

окси углерода CO и молекул H_2 , составляющий 6×10^{-5} . Поэтому радиолиния CO с длиной волны 2.6 мм оказалась удобным индикатором распределения молекулярного водорода. Подробное описание методов наблюдения в линии CO и каталог молекулярных облаков можно найти в работе Дэйма и др. [62].

Связь между поясом Гулда и низкоширотными ($|b| \leq 24^\circ$) молекулярными облаками, в их распределении и кинематике была изучена в работе Тэйлора и др. [32], в которой было показано, что движение облаков согласуется с моделью расширения пояса Гулда. Из анализа распределения по небесной сфере высокоширотных ($|b| \geq 25^\circ$) молекулярных облаков в работе [63] найдено, что они образуют две протяженные оболочки, связанные с двумя ближайшими ОВ-ассоциациями, входящие в пояс Гулда - Per OB3/Cas-Tau и Sco-Cen.

Существует очень тесная связь между молекулярными облаками и областями звездообразования в Галактике. Это обусловлено тем, что звезды образуются внутри таких облаков. Вокруг очень молодых и массивных O или B звезд возникают зоны ионизованного водорода, которые являются индикаторами областей звездообразования. В поясе Гулда находится одна из самых известных зон HII - туманность Ориона (ассоциация Ori OB1).

В работе Поррас и др. [64] с наибольшей полнотой отражены данные наблюдений в ближнем инфракрасном диапазоне (J, H, K) наиболее молодых звездных группировок (с возрастом несколько млн. лет) в радиусе 1 кпк от Солнца, показана их тесная связь с распределением молекулярных облаков. Полученное распределение, построенное на основе около 7200 звезд, дано на рис.3, где размеры кружков соответствуют трем категориям группировок в зависимости от количества звезд $n < 30$, $30 < n \leq 100$ и $n > 100$, соответственно. Поясу Гулда принадлежат комплексы молекулярных облаков, расположенные внутри круга 0.5 кпк - Ori, Per OB2, Tau, Cha, Oph, а также ряд более мелких облаков.

Формирующиеся протозвезды имеют протяженные оболочки, в которых возникает мазерное излучение. Их тригонометрические параллаксы и собственные движения определяются методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) с очень высокой точностью, в среднем 5-10%.

Метанольные (CH_3OH , 6.7 ГГц, 12.2 ГГц) и водяные (H_2O , 22.2 ГГц), мазеры наблюдаются в США на VLBA [65]. Подобные наблюдения выполняются с использованием Европейской РСДБ [66], в которую входят три российские антенны: Светлое, Зеленчукская и Бадары. В настоящее время эти две программы объединены в рамках проекта BeSSeL¹ (Bar and Spiral Structure Legacy Survey, Брунталер и др. [67]). Радионаблюдения

¹ <http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/abrunthaler/BeSSeL/index.shtml>

водяных мазеров на частоте 22.2 ГГц [68] осуществляются по программе японского проекта VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry). Тригонометрические параллаксы ряда маломассивных близких звезд, связанных с поясом Гулда, определяются в рамках отдельной программы РСДБ-наблюдений радиозвезд в континууме [69,70].

В настоящее время различными группами радиоастрономов измерены тригонометрические параллаксы уже более 100 мазерных галактических источников [71], которые ассоциируются с массивными областями активного звездообразования. Программа наблюдений включает более 400 объектов. Пока это объекты северного полушария, но вскоре будут наблюдаться и мазеры южного неба.

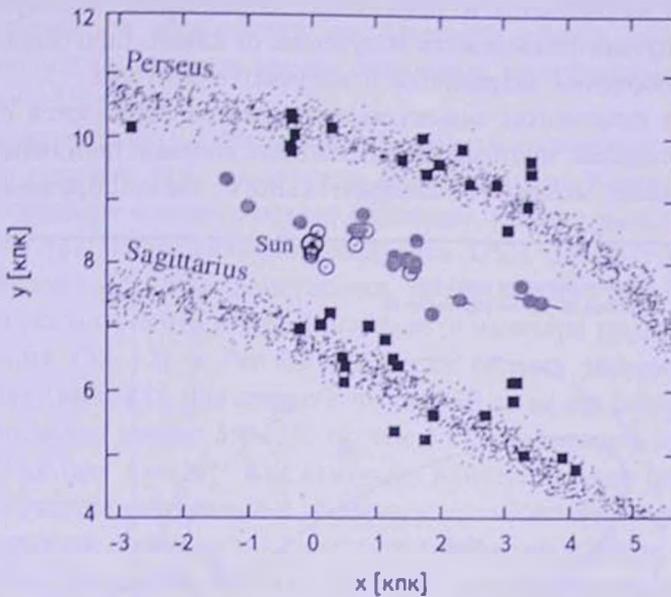


Рис.4. Мазеры с измеренными тригонометрическими параллаксами в отрезках ближайших к Солнцу спиральных рукавах Персея и Киля-Стрельца (квадраты) и местном рукаве (кружки) по данным Ксю и др. [72].

На рис.4 дано распределение мазеров с измеренными тригонометрическими параллаксами в широкой окрестности Солнца радиусом около 4 кпк. Отчетливо виден местный рукав (рукав Ориона), который трассирует как массивные (заполненные кружки), так и маломассивные протозвезды (открытые кружки).

2.2.3. *Коронарный газ.* С поясом Гулда тесно связана и структура межзвездного разреженного горячего газа с температурой $T \approx 10^6$ К в непосредственной окрестности Солнца радиусом 200-300 пк. Здесь известны такие области, как "Местный пузырь" (Local bubble) и Северный полярный шпур (North Polar Spur, либо Loop I superbubble).

Местный пузырь — это компактная область, практически свободная от поглощающей материи, поэтому была впервые обнаружена из анализа межзвездного покраснения звезд Фишджеральдом [73]. Построенные Сфейром и др. [74] карты распределения поглощения нейтрального газа в линиях NaI показывают наклон к плоскости Галактики, как у пояса Гулда.

Физические процессы, приводящие к возникновению пузырей в общих чертах таковы. В молодых рассеянных скоплениях звезд происходят многократные взрывы сверхновых. Это приводит к возникновению звездных ветров и образованию ударных волн, выметающих газ на периферию данной локальной области, где он образует сгущения в виде оболочек или протяженных стен. На границах оболочки плотность газа существенно возрастает, газ охлаждается и происходит образование молекулярных облаков. Если пузырь подвергается облучению от какой-либо сверхновой, то газ внутри оболочки нагревается и излучает в рентгене.

В холодных фрагментах молекулярных облаков образуются сгустки газопылевого вещества протозвезды, из которых впоследствии образуются звезды. Описание модели последовательного звездообразования в

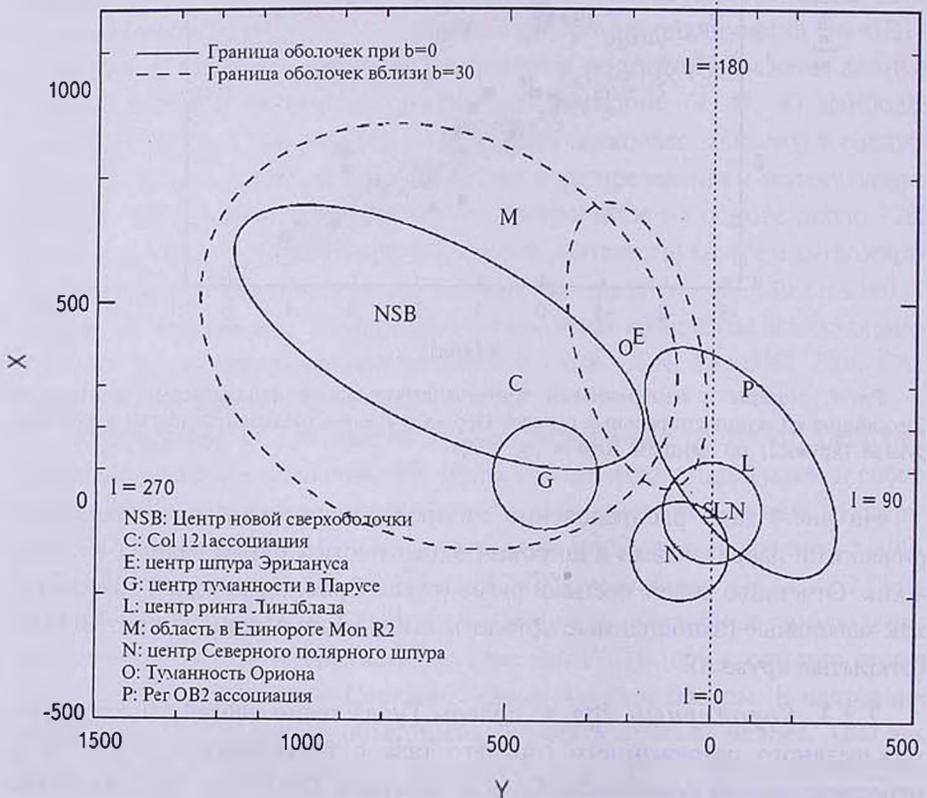


Рис.5. Пространственное распределение областей коронарного газа, согласно Хейлесу [82], кругом с Солнцем в центре обозначен Местный пузырь.

молекулярных облаках, связанных с ОВ-ассоциациями, можно найти в работе Прейбыша, Зиннскера [75] на примере ассоциации Скорпиона-Центавра.

Наиболее реалистичной теорией происхождения Местного пузыря, по мнению Бергхофера, Брейтшверлта [76], является гипотеза о многократном, но не одновременном, а растянутом по времени, взрыве около 20 сверхновых в последние 10-20 млн. лет. В настоящее время в районе пояса Гулда обнаружены 7 нейтронных звезд [77,78], которые вполне могут быть остатками таких сверхновых.

Время существования пузыря или каверн очень не продолжительное по сравнению с возрастом пояса Гулда, поэтому в работах [79-81] обосновывается точка зрения о том, что наиболее подходящими объектами, ответственные за образование как Местного пузыря, так и Северного полярного шпура, являются взрывы сверхновых, произошедшие в ассоциации Скорпиона-Центавра.

В радиусе около 0.8 кпк от Солнца известны подобные области разреженного горячего газа: туманность в Парусе (Gum Nebula), комплекс в Орионе-Эридане (связан с петлей Барнарда), а также выявленная недавно Хейлесом [82] гигантская сверхоболочка GSH 238+00+09 (NSB, New Super Bubble). Их пространственное распределение дано на рис.5, на котором указаны центр ринга Линдблада (и нанесена модель Олано), ОВ-ассоциации Col 121 и Peg OB2, а также область звездообразования в Единороге (Mon R2). Для сверхоболочки NSB даны два контура: сплошной линией отмечен эллипс 550×217 пк при $b = 0^\circ$, пунктиром отмечен эллипс 605×480 пк при $b = -30^\circ$. Как отмечено Хейлесом, из-за ошибок в определении расстояний реальные границы сверхоболочки могут быть совершенно другими, особенно это касается ее вытянутого контура, обозначенного на рисунке сплошной линией. Причина возникновения сверхоболочки GSH 238+00+09 пока не выяснена.

Кроме того, в околосолнечной окрестности известна крупномасштабная структура разреженного горячего газа под названием Большой Провал (Great Rift). Вдоль границ Большого Провала располагаются плотные облака газа и пыли.

2.2.4. *Пыль.* Общая масса межзвездной пыли в околосолнечной окрестности составляет всего около 1% от общей массы имеющегося водорода [57,58]. Темные пылевые облака представляют серьезную проблему при оценках фотометрических расстояний до звезд или РСЗ. Ряд авторов высказывает мнение о том, что Местная система является чисто виртуальной, проявляющейся из-за неравномерности распределения поглощающей материи [36].

В настоящее время большой интерес для восстановления истории звездообразования представляет наблюдение пыли, сосредоточенной в дисках вокруг отдельных молодых звезд. На решение этой задачи направлен проект JCMT (James Clerk Maxwell Telescope), который будет выполнять наблюдения областей звездообразования, принадлежащих поясу Гулда, в течение 2007-2009гг. в субмиллиметровом диапазоне [83]. Подробный обзор свойств межзвездной среды в околосолнечной окрестности можно найти в работе Фриш [84].

2.3. *Кинематика.* Отметим некоторые результаты, полученные различными авторами до и после космического эксперимента HIPPARCOS. В работе Вестина [85] на основе линейной модели Огородникова-Милна был выполнен анализ ≈ 1500 звезд спектральных классов O-A0 в окрестности Солнца плюс еще 500 дополнительных ярких звезд. Возраст индивидуальных звезд оценивался с использованием 4-х цветной и H β фотометрии Стремгрена. Привлечены были доступные лучевые скорости, а также собственные движения звезд из каталога FK4. Критерием принадлежности к поясу Гулда служило ограничение на возраст звезд $\tau < 30$ млн. лет.

Линдбладом и др. [86] сходный анализ был проведен с использованием ≈ 2440 OB-звезд HIPPARCOS, для которых имелась фотометрия Стремгрена. Помимо критерия $\tau < 30$ млн. лет, принадлежащими к поясу Гулда считались звезды, расположенные внутри ринга Линдблада.

Комероном [87] был применен метод эпициклического приближения для анализа движений ≈ 300 наиболее молодых OB-звезд HIPPARCOS по z-координате. Была найдена пространственная ориентация оси вертикальных колебаний в плоскости, перпендикулярной галактической, скорость вертикальных колебаний найдена равной 6.5 ± 1.8 км/с/кпк.

В работе Торры и др. [30] на основе линейной модели Огородникова-Милна был выполнен обширный анализ ≈ 2500 OB-звезд HIPPARCOS, с привлечением доступных данных о лучевых скоростях звезд. Было

Таблица 1

ПОСТОЯННЫЕ ООРТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА ОБ-ЗВЕЗД

Возраст, млн. лет	n.	A км/с/кпк	B км/с/кпк	C км/с/кпк	K км/с/кпк	Источник
<30	275	-8.5 ± 2.7	-24.5 ± 2.7	10.5 ± 2.7	7.4 ± 2.7	[85]
<30	144	-6.1 ± 4.1	-20.6 ± 5.2	2.9 ± 3.7	11.0 ± 3.5	[86]
<30	361	5.7 ± 1.4	-20.7 ± 1.4	5.2 ± 1.4	7.1 ± 1.4	[30]
>60	445	15.1 ± 3.6	-11.8 ± 3.6	-9.2 ± 3.6	-2.5 ± 3.6	[86]
не члены	291	13.7 ± 1.0	-13.6 ± 0.8	0.8 ± 1.1	-1.1 ± 0.8	[86]
>60	932	11.8 ± 1.5	-11.0 ± 1.4	-0.9 ± 1.5	-3.5 ± 1.7	[30]
0.6-2 кпк	449	13.0 ± 0.7	-12.1 ± 0.7	0.5 ± 0.8	-2.9 ± 0.6	[30]

показано, что значения параметров Оорта существенно зависят от возраста звезд, тщательно изучен К-эффект. Для ОВ-звезд моложе 60 млн. лет значение скорости расширения достигает величины 7.1 ± 1.4 км/с/кпк при среднем радиусе выборки 100 пк, на более далеком от Солнца расстоянии эта скорость становится отрицательной и определяется с большими ошибками. Специально выполненный эксперимент показал, что эффект расширения сохраняется даже в том случае, если исключить из рассмотрения звезды ассоциаций Скорпиона-Центавра и Or OB1. Этот результат интересен потому, что ОВ-ассоциации имеют свое собственное заметное расширение, и на этом основан кинематический метод оценки их возраста [40].

В табл.1 даны параметры линейной модели Огородникова-Милна - постоянные Оорта А, В, С и К, которые были определены в работах [85,86,30] для членов пояса Гулда (верхняя часть таблицы) и не членов пояса Гулда (средняя часть таблицы). При этом, рассматривались близкие звезды в окрестности радиусом ≈ 600 пк. В самой нижней части таблицы постоянные Оорта А, В, С и К характеризуют дифференциальное вращение Галактики. Во второй колонке указано количество звезд, *п.* Как можно видеть из таблицы результаты различных авторов согласно показывают, что параметры Оорта, найденные по звездам пояса Гулда, имеют существенные отличия от параметров галактического вращения.

Бобылев [88] на основе выборки из 49 близких РСЗ со средним возрастом 32 млн. лет показал, что пояс Гулда участвует в нескольких движениях. Во-первых, помимо участия в общем вращении Галактики, весь комплекс в целом движется относительно местного стандарта покоя со скоростью 10.7 ± 0.7 км/с в направлении $l = 274^\circ \pm 4^\circ$, $b = -1^\circ \pm 3^\circ$. Во-вторых, имеется остаточное вращение и расширение системы. В качестве параметров кинематического центра были приняты значения $l_0 = 128^\circ$ и $R_0 = 150$ пк. Остаточные скорости достигают максимальной величины -4.3 ± 1.9 км/с для вращения и 4.1 ± 1.4 км/с для расширения при расстоянии от кинематического центра ≈ 300 пк.

Отметим, что при анализе кинематики пояса Гулда важную роль играет учет влияния спиральной структуры Галактики. Однако параметры спирального узора, такие как количество рукавов, угол закрутки, скорость вращения узора и значение фазы Солнца в спиральной волне известны плохо. В работе Бобылева, Байковой [89] изучена выборка из 220 звезд, часть из них - в основном далекие звезды спектральных классов O-B2.5, остальные (принадлежащие поясу Гулда) - массивные В-звезды HIPPARCOS с ошибками параллакс не более 10%. На рис.6 даны галактоцентрические радиальные скорости этих звезд в зависимости от галактоцентрического расстояния *R*. Хорошо видна волна с длиной около 3 кпк и амплитудой около 10 км/с, которая связана с влиянием галактической спиральной

волны плотности в скоростях звезд. В работе показано, что возмущение в радиальных скоростях имеет близкую фазу как для далеких, так и для близких звезд. На рисунке нанесена прямая, которая соответствует градиенту скорости $dV_R/dR = 40$ км/с/кпк. Этот градиент является частью классического кинематического К-эффекта, о котором мы уже говорили в самом начале:

$$K = 0.5 \left[\frac{\partial V_R}{\partial R} + \frac{1}{R} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_R}{R} \right].$$

Эта прямая показывает, что "наблюдаемое"

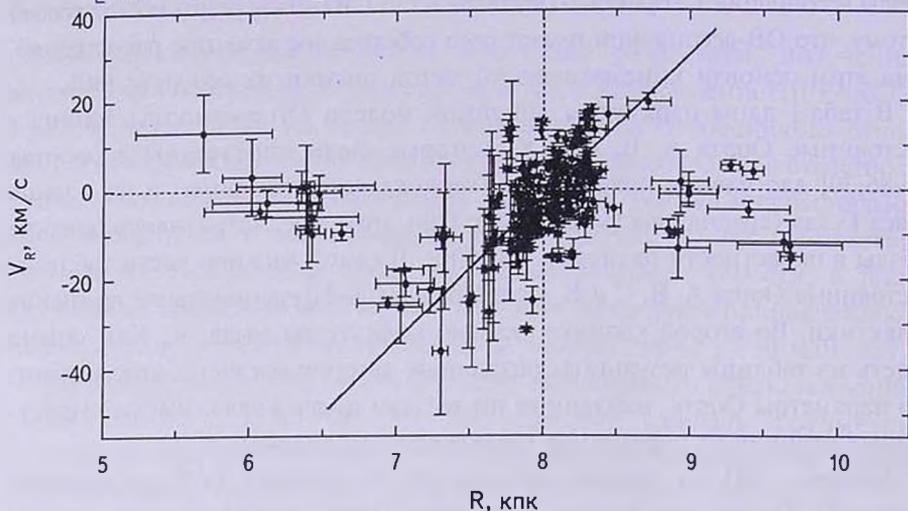


Рис.6. Галактоцентрические радиальные скорости выборки из 220 звезд спектральных классов O-B2.5 в зависимости от галактоцентрического расстояния R по данным [89], положение Солнца отмечено вертикальной пунктирной линией.

расширение Местной системы звезд (пояса Гулда, в частности) является по своей сути проявлением локального возмущения, вызванного спиральной волной плотности. Параметры скоростей возмущения от спиральной волны в остаточных скоростях вращения звезд, найденные по близким (пояс Гулда) и далеким звездам, различаются. Особенно это заметно по значению фазы Солнца в спиральной волне. Это говорит о том, что пояс Гулда может обладать собственным остаточным вращением, не связанным с влиянием спиральной волны плотности.

2.4. Возраст. Для оценки возраста пояса Гулда использовались различные методы. В работе Фрогеля и Стозерса [21] дан интересный обзор таких методов, мы повторим его подход с добавлением современных результатов.

Оценки возраста пояса Гулда на основе найденного коэффициента расширения как по звездам, так и по газовым облакам [21,60,85,87,90-94] дают значения в интервале 30-70 млн. лет (в обзоре [21] дан более широкий интервал 30-220 млн. лет).

Оценки возраста пояса Гулда на основе движения вертекса [9] дают значения в интервале 20-70 млн. лет. Оценки возраста индивидуальных звезд пояса Гулда с использованием, например, фотометрии Стремгрена [30] показывают, что этой структуре принадлежат звезды с возрастом <90 млн. лет. Для РСЗ и ОВ-ассоциаций получены оценки возраста на основе сопоставления с изохронами, которые показывают, что поясу Гулда принадлежат РСЗ с возрастом <80 млн. лет [36], средние возрасты отдельных ОВ-ассоциаций не превышают 50 млн. лет [42].

Все перечисленные результаты находятся в хорошем согласии между собой. В настоящее время обычно полагают, что средний возраст пояса Гулда составляет ≈ 60 млн. лет.

Рядом авторов было найдено собственное вращение пояса Гулда [48,95,61,94,88]. Оценки возраста пояса Гулда, полученные с использованием угловой скорости его вращения дают значения в интервале 50-500 млн. лет, и наиболее сильно отличаются от оценок, сделанных на основе других методов. Отметим, что близкое к нижней границе данного интервала значение ≈ 80 млн. лет этим способом получается на основе угловой скорости вращения Местной системы $-1.63^\circ/(100 \text{ лет}) = -77 \text{ км/с/кпк}$, найденной в работе Шацовой [48]. Анализ современных данных не подтверждает такого большого значения этой величины. Современные определения угловой скорости собственного вращения пояса Гулда дают значение от -25 км/с/кпк до -20 км/с/кпк [61,88], в этом случае оценка периода обращения составляет $200+300$ млн. лет. Указанный парадокс пока не разрешен.

2.5. *Масса.* В табл.2 даны значения оценок массы пояса Гулда и его

Таблица 2

ОЦЕНКИ МАССЫ ПОЯСА ГУЛДА И ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Компонента	Возраст млн. лет	Радиус пк	Масса M_\odot	Источник
Звезды	-	≈ 500	$10^4 - 10^5$	[58]
	45 - 90	500	5×10^5	[32]
H1	-	≈ 500	2.6×10^5	[58]
	60	≈ 600	1×10^6	[59]
	30	≈ 300	1.2×10^6	[96]
	16	≈ 300	3.3×10^5	[12]
	26	≈ 300	2.4×10^5	[93]
H2	≤ 60	≈ 300	4×10^5	[32]
Пыль	-	≈ 500	6×10^5	[58]
Масса в центре	20 - 40	<500	$\approx 1 \times 10^6$	[61]
	32	<500	1.5×10^6	[88]

отдельных составляющих, которые были получены различными авторами на основе различных данных и методов.

В работе Дэвиса [58] оригинальные оценки массы нейтрального водорода и пыли получены с учетом их концентрации на основе результатов обширной наблюдательной программы водородных линий в радиодиапазоне. Найденная им оценка массы всех звезд различных спектральных классов, принадлежащих поясу Гулда, имела предварительный характер.

Линдбладом [59] масса нейтрального водорода оценена на основе анализа оригинальных радионаблюдений на волне 21 см. Оценка массы нейтрального водорода в работе Олано [96] была получена исходя из предположения о взрыве сверхновой, последующего разлета и торможения образовавшейся оболочки. Исходя из аналогичных предположений, оценивалась масса пояса Гулда в работах [32,12,93]. Отличие этих оценок от Олано [96], как отмечают авторы этих работ, главным образом вызвано применением других значений плотности звезд в околосолнечной окрестности.

Для оценки общей массы молекулярных облаков H_2 , принадлежащих поясу Гулда, в работе Тэйлора и др. [32] были переработаны данные Линдса [97] с учетом распределения материи, характерного для пояса Гулда. Общая масса звезд пояса Гулда оценивалась достаточно тщательно, с использованием начальной функции масс, которая строилась на основе данных различных авторов.

В работах Линдблада [61] и Бобылева [88] были сделаны вириальные оценки - Линдбладом из анализа кинематики наиболее молодой фракции ОВ-звезд HIPPARCOS, Бобылевым из анализа кривой вращения 49 РСЗ и ассоциаций, принадлежащих поясу Гулда. Данный подход основан на предположении о том, что вся масса сосредоточена в центре, а движения звезд подчиняются кеплеровскому закону. Метод дает оценку всей гравитирующей массы в заданном объеме пространства.

Как видно из табл.2, основной вклад в массу пояса Гулда дает нейтральный водород. Поэтому пояс Гулда справедливее называть газово-звездным комплексом.

3. *Сценарии образования.* Предложено несколько сценариев образования пояса Гулда. Согласно первому, к его образованию привел взрыв сверхновой. Согласно второму, к его образованию привело столкновение высокоскоростных облаков нейтрального водорода с диском Галактики. Согласно третьему, образование пояса Гулда является этапом кинематической эволюции Рукава Ориона.

Как отмечено в работе Поппеля [26], в целом процесс звездообразования в околосолнечной окрестности мог быть спровоцирован прохождением рукава Киля-Стрельца через эту область. Определенную роль также может

играть процесс спонтанного возникновения и распространения звездообразования.

3.1. Взрыв сверхновой. Подход основан на предположении Блау [98] о том, что пояс Гулда мог образоваться в результате расширения чрезвычайно ускоренного газа из очень малого пространственного объема, т.е. взрыва. В результате такого взрыва образуется расширяющаяся оболочка. В качестве источника звездного ветра или взрыва Блау [99,100] рассматривал звезды OB-ассоциации Cas-Tau. В настоящее время эта ассоциация рассеяна на значительном пространстве, а в центре ее находится скопление α Per (рис.2). В целом, распределение ближайших OB-ассоциаций, принадлежащих поясу Гулда, не во всем удовлетворяют предсказаниям данной модели, поэтому Блау [100] делает вывод о том, что модель не полна.

Все же на основе модели о взрыве сверхновой получен ряд важных результатов в работах Олано [96], Морено и др. [12], Поппеля, Марронетти [101], а также Перро, Гренье [93].

В работе Олано [96] была рассмотрена газодинамическая модель образования пояса Гулда со значительной первоначальной скоростью расширения (≈ 20 км/с) первичного облака водорода. Из-за торможения газа, вызванного сопротивлением окружающей среды, скорость расширения упала до нуля. По представлению данной модели, граница нулевых скоростей и очерчивает внешнюю границу пояса Гулда. Был найден эллипс с полуосями 364×211 пк с центром $l_0 = 131^\circ$ и $R_0 = 166$ пк (рис.2). О других найденных в работе Олано параметрах уже было сказано выше.

Линдбладом [61] была предложена модель собственного дифференциального вращения и расширения пояса Гулда, который рассматривался в качестве гравитационно-связанной системы, с угловой скоростью $\omega_0 = -24$ км/с/кпк, совпадающей по направлению с галактическим вращением, а также расширение системы с коэффициентом угловой скорости $\rho_0 = 20$ км/с/кпк, при найденных параметрах центра $l_0 = 127^\circ$ и $R_0 = 166$ пк. Эта модель учитывает наклон диска к галактической плоскости 20° , она была построена с привлечением результатов анализа OB-звезд HIPPARCOS, полученных в работах [102,87]. В отличие от модели Олано [96], модель Линдבלада [61] объясняет плоскую форму пояса Гулда тем, что имеется значительный угловой момент. В работах Бобылева [94,88] подход Линдבלада был развит для нелинейного случая, с учетом того, что расстояния от кинематического центра системы до звезд вычисляются точно (с использованием измеренных параллаксов звезд), получены сходные значения кинематических параметров.

Результаты работы Перро, Гренье [93], полученные с использованием лучевых скоростей и расстояний молекулярных облаков на основе трехмерного моделирования эволюции расширяющейся оболочки, в целом

находятся в удовлетворительном согласии с моделью Олано [96]. При этом, были найдены несколько отличные параметры эллипса $\approx 373 \times 233 \times 30$ пк с центром $l_0 = 180^\circ$ и $R_0 = 104$ пк, а также получена существенно меньшая оценка массы водорода (табл.1). Авторы пришли к интересному заключению о том, что современные геометрические и кинематические характеристики пояса Гулда практически не зависят от направления первоначального вращения. Подтверждая мнение Блау [100], авторы отмечают следующее противоречие. Модель взрыва предполагает, что более старые ОВ-ассоциации были сформированы в результате воздействия более скоростной ударной волны, чем молодые. Это означает, что старые ассоциации должны находиться дальше от центра взрыва и двигаться с большими скоростями, чем молодые. Однако, ожидаемого градиента скоростей и расстояний не наблюдается в ассоциациях Скорпиона-Центавра (US, UCL и LCC) и Ориона (Ori Ia, Ori Ib и Ori Ic), для которых имеются надежные оценки возраста отдельных группировок.

В рамках сценария о взрыве, в работе Палуша [103] смоделированы три случая: а) свободного расширения от точечного центра; б) развитие оболочки, подобной тем, что наблюдаются вокруг ОВ-ассоциаций; в) развитие оболочки, возникшей в результате взрыва гиперновой (мощный взрыв в результате, например, слияния двух нейтронных звезд). Автор приходит к выводу, что наблюдаемые характеристики пояса Гулда, а именно значения постоянных Оорта и его форму, не удастся объяснить в рамках указанных моделей. В случае а) при эволюции оболочки постоянная Оорта B остается равной 0, чего не наблюдается; в случае б) оболочка не распадается на фрагменты, в отличие от наблюдений; в случае в) развитие оболочки приводит к очень вытянутой фигуре, которая плохо согласуется с наблюдаемой формой пояса Гулда.

На основе сопоставления наблюдательных данных о звездах с моделями расширения пояса Гулда, выполненные в [91] и [104] авторы заключают, что расширение происходит скорее не от точечного центра, а от линии.

В рамках модели взрыва не ясно: почему комплекс молекулярных облаков в Тельце находится во внутренней части расширяющегося ринга Линдблада (см. рис.4), открыт вопрос о том, какую роль в образовании пузырей играет магнитное поле [26].

Тем не менее, отвлекаясь от физической причины первоначального воздействия на родительское облако, удастся воспроизвести основные черты дальнейшей эволюции пояса Гулда. Например, Васильковой [105] на основе численного моделирования динамической эволюции пояса Гулда в подходящем галактическом потенциале, показано, что первоначально сферическое распределение модельных частиц со временем становится эллипсоидальным (в согласии с более ранними результатами Блау),

имеются коллективные колебания частиц вдоль координаты z , характерные для пояса Гулда.

3.2. Высокоскоростные облака Как показали обзоры распределения и движения водорода, скорости практически всех высокоширотных водородных облаков таковы, что они приближаются к плоскости Галактики, и в ряде случаев их скорости составляют 200 км/с и более. Хотя расстояния до этих облаков известны плохо, предполагается, что они связаны с Магеллановым потоком [106,107].

Лепин, Дувр [108] предположили, что ряд близких комплексов молекулярных облаков, которые расположены достаточно далеко от галактической плоскости, могли образоваться в результате столкновения высокоскоростных облаков с диском Галактики. Была применена простая двумерная магнитогидродинамическая модель для того, чтобы объяснить появление таких наблюдаемых скоплений молекулярных облаков, как *Orn Cha*, *ρ Ori* и *Tau-Aur*. Каждое скопление рассматривалось по отдельности, поэтому возникновение такой структуры как пояс Гулда, в рамках этой модели, могло возникнуть лишь случайно.

В работах Комерона и Торры [109,104] была рассмотрена более сложная модель косоугольного падения высокоскоростного облака на галактическую плоскость. Было показано, что в итоге образуется структура, похожая на ринг Линдблада, но значительно большего размера. Как отмечено Поппелем [26], изучение таких процессов представляет большой интерес для понимания происхождения пояса Гулда, хотя предложенные к настоящему времени модели пока наталкиваются на ряд проблем в объяснении некоторых свойств межзвездной среды.

Интересно отметить модель Бекки [110], которая похожа на модель Комерона и Торры, только вместо высокоскоростного водородного облака здесь выступает облако темной материи. Как показало численное моделирование Бекки, пояс Гулда мог образоваться около 30 млн. лет назад из первоначального газового облака массой около $10^6 M_{\odot}$ после столкновения со сгустком темной материи, имеющего массу $3 \times 10^7 M_{\odot}$. Сгусток темной материи движется из южного полушария в северное под углом к галактической плоскости около 30° . Его динамическое влияние таково, что в первоначально симметричном родительском для пояса Гулда газовом облаке стартует процесс звездообразования, оно постепенно вытягивается в эллипс, наконец, приобретает размер и наклон к галактической плоскости, характерные для пояса Гулда.

3.3. Эволюция рукава Ориона. В работе Олано [44] Местная система отождествляется с Местным рукавом (рукавом Ориона) и моделируется эволюция этой структуры с массой $\approx 2 \times 10^7 M_{\odot}$ на протяжении

последних 100 млн. лет. Согласно этому подходу, имелась большая начальная скорость (≈ 50 км/с) движения газа, из которого образовалась Местная система. Предполагается, что такая скорость могла быть достигнута в результате взаимодействия с рукавом Киля-Стрельца. Столкновение газового облака со спиральной волной плотности привело к его раздроблению. В рамках этой модели такие скопления как Гиады, Плеяды, Волосы Вероники и скопление Сириуса рассматриваются как осколки некогда единого комплекса, а к формированию пояса Гулда привело сжатие центральных областей родительского облака. Построение орбит различных структур, входящих в рукав Ориона, привело к интересному результату - оказалось, что Местная система заметно влияет своей гравитацией на движение Солнца.

4. *Заключение.* В настоящее время выполняется масштабный наземный обзор неба с целью определения лучевых скоростей сотен тысяч звезд RAVE, осуществляется космический эксперимент GAIA, результатом выполнения которого будет огромная база высокоточных данных о расстояниях и собственных движениях миллионов звезд с микросекундной точностью, лучевых скоростях звезд с точностью в доли км/с, а также их фотометрия. Продолжаются РСДБ-наблюдения галактических мазеров с целью определения их высокоточных собственных движений и тригонометрических параллаксов. В первую очередь эти проекты направлены на изучение структуры и кинематики Галактики, так как существенно расширятся возможности в изучении пространственных движений звезд, находящихся на расстояниях от Солнца вплоть до 10 кпк.

Что касается изучения Местной системы, то появление высокоточных данных должно привести, в первую очередь, к более надежному выделению объектов пояса Гулда и рукава Ориона из окружающего фона по целому ряду параметров - возрасту, распределению, расстоянию, кинематике. Все это в целом будет способствовать решению таких проблем как

- выяснение причины первоначального воздействия (либо их набор), которое привело к сжатию родительского облака газа, из которого сформировались рукав Ориона и пояс Гулда,

- построение адекватной динамической модели эволюции рукава Ориона и пояса Гулда,

- детальное восстановление истории звездообразования в пределах Местной системы.

Теория происхождения пояса Гулда должна объяснять его наклон; характер распределения окружающих его ОВ-ассоциаций и системы молекулярных облаков; особенности трехмерного распределения его скоростей; прояснить вопрос о его гравитационной связанности.

Автор благодарен В.П.Грину за то, что он инициировал написание

данного обзора, а также В. В. Витязеву за внимательное прочтение рукописи и высказанные замечания, которые способствовали улучшению работы. Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН П-21 "Нестационарные явления в объектах Вселенной".

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург, e-mail: bob-v-vzz@rambler.ru

² Астрономический институт им. В.В.Соболева Санкт-Петербургского государственного университета, С.-Петербург

REVIEWS

THE GOULD BELT

V.V. BOBYLEV^{1,2}

The review is devoted to the problems associated with studying the Gould Belt and the Local system. In light of the fact that the Gould Belt is the closest to the Sun giant stellar-gaseous complex, the characteristic of its stellar component, constituent stellar associations and open clusters, cold atomic, molecular and high-temperature gas and the dust are given. The problems connected with the kinematic singularities of the Gould Belt, the most interesting scenarios of its origin and evolution are considered.

Key words: *Gould belt: characteristics of its stellar component*

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.F.W.Herschel*, Results of astronomical observations made during the years 1834, 5, 6, 7, 8 at the Cape of Good Hope. London: Smith, Elder and Co., 1847.
2. *F.G.W.Struve*, Études d'astronomie stellaire. Sur la voie lactee et sur la distance des etoiles fixes. St. Petersburg, 1847.
3. *B.A.Gould*, Proc. of the American Assoc. for Advanced Sci., Part I, 115, 1874.
4. *B.A.Gould*, Uranometria Argentina, Buenos Aires: P.E. Coni, 1879.
5. *H.Shapley*, Astrophys. J., 49, 311, 1919.
6. *J.C.Kapteyn*, *E.B.Frost*, Astrophys. J., 32, 83, 1910.

7. *W.W.Campbell*, Lick Obs. Bull., **6**, 101, 1911.
8. *E.A.Milne*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **95**, 560, 1935.
9. *К.Ф.Огородников*, Динамика звездных систем, М.: Физматгиз, 1965.
10. *G.Strömberg*, Astrophys. J., **59**, 228, 1924.
11. *П.П.Паренаго*, Астрон. ж., **27**, 150, 1950.
12. *E.Moreno, E.J.Alfaro, J.Franco*, Astrophys. J., **522**, 276, 1999.
13. *B.Lindblad*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **87**, 553, 1927.
14. *B.Lindblad*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **90**, 503, 1930.
15. *J.H.Oort*, Bull. Astron. Inst. Netherland, **3**, 120, 275, 1927.
16. *J.H.Oort*, Bull. Astron. Inst. Netherland, **4**, 132, 79, 1927.
17. *R.J.Trumpler*, Lick Obs. Bull., **14**, 420, 1930.
18. *В.А.Амбарцумян*, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, Изд. АН Арм. СССР, 1947.
19. *В.А.Амбарцумян*, Астрон. ж., **26**, 3, 1949.
20. *B.J.Vok*, The Distribution of the Stars in Space, Chicago, U. Chicago Press, 1937.
21. *J.A.Frogel, R.Stothers*, Astron. J., **82**, 890, 1977.
22. *Ю.Н.Ефремов*, Очаги звездообразования в галактиках, М., Наука, 1989.
23. *W.G.L.Pöppel*, Fundamental of Cosmic Physics, **18**, 1-271, 1997.
24. *Yu.N.Efremov*, Astron. Astrophys. Trans., **15**, 3, 1998.
25. *Yu.N.Efremov, B.G.Elmeegreen*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **299**, 588, 1998.
26. *W.G.L.Pöppel*, ASP Conf. Ser., **243**, 667, 2001.
27. *M.F.Skruskie, R.M.Cutri, R.Stiening et al.*, Astron. J., **131**, 1163, 2006.
28. The HIPPARCOS and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, 1997.
29. *E.Hig, C.Fabircius, V.V.Makarov et al.*, Astron. Astrophys., **355**, L27, 2000.
30. *J.Torra, D.Fernández, F.Figueras*, Astron. Astrophys., **359**, 82, 2000.
31. *E.Chereul, M.Crézé, O.Bienaymé*, Astron. Astrophys., **340**, 384, 1998.
32. *D.K.Taylor, R.L.Dickman, N.Z.Scoville*, Astrophys. J., **315**, 104, 1987.
33. *R.Wichmann, J.H.M.M.Schmitt, S.Hubrig*, Astron. Astrophys., **399**, 983, 2003.
34. *E.E.Mamajek, M.Meyer, J.Liebert*, Astron. J., **124**, 1670, 2002.
35. *J.Hernández, N.Calvet, L.Hartmann et al.*, Astron. J., **129**, 856, 2005.
36. *A.E.Piskunov, N.V.Kharchenko, S.Röser et al.*, Astron. Astrophys., **445**, 545, 2006.
37. *J.H.J. de Bruijne*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **310**, 585, 1999.
38. *S.Madsen, D.Dravins, L.Lindgren*, Astron. Astrophys., **381**, 446, 2002.
39. *A.Blaauw*, Bull. Astron. Inst. of Netherland, **11**, 414, 1952.
40. *A.Blaauw*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **2**, 213, 1964.
41. *M.J.Sartori, J.R.D.Lépine, W.S.Dias*, Astron. Astrophys., **404**, 913, 2003.
42. *P.T. de Zeeuw, R.Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne et al.*, Astron. J., **117**, 354, 1999.
43. *A.G.A.Brown, E.J. de Geus, P.T. de Zeeuw*, Astron. Astrophys., **289**, 101, 1994.
44. *C.A.Olano*, Astron. Astrophys., **121**, 295, 2001.
45. *Ю.Н.Ефремов, Т.Г.Ситник*, Письма в Астрон. ж., **14**, 817, 1988.
46. *H.Mineur*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **90**, 516, 1930.
47. *H.Mineur*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **90**, 789, 1930.
48. *Р.Б.Шацова*, Ученые записки ЛГУ, **136**, вып. 22, 113, 1950.

49. A.S.Tsvetkov, *Astron. Astrophys. Transactions*, **8**, 145, 1995.
50. A.S.Tsvetkov, *Astron. Astrophys. Transactions*, **9**, 1, 1995.
51. A.S.Tsvetkov, Proc. of Conf. "Journées Systèmes de référence spatio-temporeles 1997" Prague, 22-24 September, Ed. J.Vondrák, N.Capitaine), p.171, 1997.
52. O.J.Eggen, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **87**, 37, 1975.
53. O.J.Eggen, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **89**, 187, 1977.
54. D.Montes, J.López-Santiago, M.C.Gálvez et al., *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **328**, 45, 2001.
55. J.López-Santiago, D.Montes, I.Crespo-Chacón et al., *Astrophys. J.*, **643**, 1160, 2006.
56. К.А.Бархатова, Л.П.Осунков, С.А.Кутузов, *Астрон. ж.*, **66**, 1154, 1989.
57. A.E.Lilley, *Astrophys. J.*, **121**, 559, 1955.
58. R.D.Davies, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **120**, 35, 1960.
59. P.O.Lindblad, *Bull. Astron. Inst. Netherland*, **19**, 34, 1967.
60. P.O.Lindblad, K.Grape, A.Sandqvist et al., *Astron. Astrophys.*, **24**, 309, 1973.
61. P.O.Lindblad, *Astron. Astrophys.*, **363**, 154, 2000.
62. T.M.Dame, D.Hartmann, P.Thaddeus, *Astrophys. J.*, **547**, 792, 2001.
63. H.C.Bhatt, *Astron. Astrophys.*, **362**, 715, 2000.
64. A.Porras, M.Christopher, L.Allen et al., *Astron. J.*, **126**, 1916, 2003.
65. M.J.Reid, K.M.Menten, X.W.Zheng et al., *Astrophys. J.*, **700**, 137, 2009.
66. K.L.J.Rygl, A.Brunthaler, M.J.Reid et al., *Astron. Astrophys.*, **511**, A2, 2010.
67. A.Brunthaler, M.J.Reid, K.M.Menten et al., *AN*, **332**, 461, 2011.
68. T.Hirota, T.Bushimata, Y.K.Choi et al., *PASJ*, **59**, 897, 2007.
69. R.M.Torres, L.Loinard, A.J.Mioduszewski et al., *Astrophys. J.*, **671**, 1813, 2007.
70. L.Loinard, R.M.Torres, A.J.Mioduszewski et al., *Astrophys. J. Lett.*, **675**, L29, 2008.
71. M.J.Reid, K.M.Menten, A.Brunthaler et al., *Astrophys. J.*, **783**, 130, 2014.
72. Y.Xu, J.J.Li, M.J.Reid et al., *Astrophys. J.*, **769**, 15, 2013.
73. M.P.Fitzgerald, *Astron. J.*, **73**, 983, 1968.
74. D.M.Sfeir, R.Lallement, F.Grifo et al., *Astron. Astrophys.*, **346**, 785, 1999.
75. T.Preibish, H.Zinnecker, *Astron. J.*, **117**, 2381, 1999.
76. T.W.Berghofer, D.Breitschwerdt, *Astron. Astrophys.*, **390**, 299, 2002.
77. S.B.Popov, M.Colpi, M.E.Prakhorov et al., *Astron. Astrophys.*, **406**, 111, 2003.
78. C.Motch, A.M.Pires, F.Haberl et al., *Astrophys. Space Sci.*, **308**, 217, 2006.
79. P.C.Frisch, *Space Sci. Rev.*, **72**, 499, 1995.
80. J.Maiz-Apellániz, *Astrophys. J.*, **560**, L 83, 2001.
81. D.Breitschwerdt, M.A. de Avillez, *Astron. Astrophys.*, **452**, L1, 2006.
82. C.Heiles, *Astrophys. J.*, **498**, 689, 1998.
83. D.Ward-Tompson, J. Di Francesco, J.Hatchell et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **119**, 855, 2007.
84. P.C.Frisch, *Space Sci. Rev.*, **130**, 355, 2007.
85. T.N.G.Westin, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **60**, 99, 1985.
86. P.O.Lindblad, J.Palouš, K.Loden et al., *HIPPARCOS Venice'97*, ed. B.Batrick, ESA Publ. Div., Noordwijk, p.507, 1997.

87. *F.Comerón*, *Astron. Astrophys.*, **351**, 506, 1999.
88. *В.В.Бобылев*, *Письма в Астрон. ж.*, **32**, 906, 2006.
89. *В.В.Бобылев, А.Т.Байкова*, *Письма в Астрон. ж.*, **39**, 601, 2013.
90. *S.V.M.Clube*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **137**, 189, 1967.
91. *J.R.Lesh*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **17**, 371, 1968.
92. *A.Tsioumis, W.Fricke*, *Astron. Astrophys.*, **75**, 1, 1979.
93. *C.A.Perrot, I.A.Grenier*, *Astron. Astrophys.*, **404**, 519, 2003.
94. *В.В.Бобылев*, *Письма в Астрон. ж.*, **30**, 861, 2004.
95. *К.Ф.Огородников*, *Труды астрон. обсерватории ЛГУ*, **15**, 1, 1950.
96. *C.A.Olano*, *Astron. Astrophys.*, **112**, 195, 1982.
97. *B.T.Lynds*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **7**, 1, 1962.
98. *A.Blaauw*, *Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap.*, **74**, 4, 1965.
99. *A.Blaauw*, *Astrophys. J.*, **123**, 408, 1956.
100. *A.Blaauw*, *Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution*, ed. N.Kalifas, Ch.Lada, Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1991.
101. *W.G.L.Pöppel, P.Marronetti*, *Astron. Astrophys.*, **358**, 299, 2000.
102. *J.Torra, A.E.Gómez, F.Figueras et al.*, *HIPPARCOS Venice'97*, ed. B.Batrick, ESA Publ. Div., Noordwijk, p.513, 1997.
103. *J.Palouš*, *Astrophys. Space Sci.*, **276**, 359, 2001.
104. *F.Comerón, J.Torra*, *Astron. Astrophys.*, **281**, 35, 1994.
105. *О.О.Василькова*, *Письма в Астрон. ж.*, **40**, 63, 2014.
106. *C.A.Olano*, *Astron. Astrophys.*, **423**, 895, 2004.
107. *C.A.Olano*, *Astron. Astrophys.*, **485**, 457, 2008.
108. *J.R.D.Lépin, G.Duvert*, *Astron. Astrophys.*, **286**, 60, 1994.
109. *F.Comerón, J.Torra*, *Astron. Astrophys.*, **261**, 94, 1992.
110. *K.Bekki*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **398**, L36, 2009.