

УДК: 524.3-32

ПОИСК ГРУПП ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЦА

Е.Э.КАЗАКЕВИЧ, В.В.ОРЛОВ

Поступила 12 апреля 2002

Принята к печати 8 мая 2002

Предлагаются два метода выявления групп звезд в пространстве координат и скоростей, с помощью которых проводилось исследование для звезд каталога Hipparcos с известными лучевыми скоростями в окрестности Солнца радиусом 125 пк. Найдено 13 вероятно неслучайных групп звезд в координатном пространстве и 5 движущихся групп в пространстве скоростей. Производится сравнение полученных результатов с результатами других авторов.

1. *Введение.* Статистические характеристики звезд окрестности Солнца можно в разумных пределах экстраполировать на значительную область Галактики. В окрестности Солнца значения тригонометрических параллаксов и собственные движения звезд наиболее надежны и, кроме того, эта область является единственной доступной для наблюдения звезд низкой светимости.

Недавно вышедший каталог Hipparcos [1] обеспечил исследователей высокоточными параллаксами и собственными движениями около 118000 звезд окрестности Солнца. В литературе появились статьи, авторы которых предлагают новые методы выявления звездных скоплений с использованием звезд этого каталога.

Методы выявления движущихся групп можно разделить на два класса. К одному из них относятся те, в которых используются только данные о собственных движениях звезд, а к другому - те, где необходима информация о пространственных скоростях звезд. К первому классу относятся два традиционных метода - метод радиантов [2,3] и метод векторных точечных диаграмм [4-6]. Поскольку каталог Hipparcos не содержит информации о лучевых скоростях звезд, в последнее время появились специально разработанные методы для исследования структуры пространства скоростей и выявления движущихся групп в этом каталоге без использования данных о лучевых скоростях. К ним относятся представленный в статье Дэнена [7] метод, где функция распределения пространственных скоростей была найдена с помощью алгоритма наибольшего правдоподобия, и метод "спагетти" [8]. Эти методы качественно отличаются от вышеуказанных классических методов радиантов и векторных точечных диаграмм тем, что используют не только информацию о собственных движениях, но и другие астрометрические параметры: координаты на небесной сфере и параллаксы. Например, в

методе "спагетти" используются все астрометрические параметры. Они определяют линию в пространстве скоростей, ортогональную измеренной тангенциальной скорости и параллельную лучу зрения, на которой должен находиться конец вектора пространственной скорости звезды. Эту линию, а точнее цилиндр (поскольку в действительности линия имеет толщину, соответствующую ошибкам астрометрических данных), авторы назвали "спагетти". "Спагетти", соответствующие звездам с одинаковыми пространственными скоростями, должны пересекаться в одной точке, которая определяет скорость группы.

В методах второго класса наблюдаемое пространственное распределение скоростей сравнивается со случайным. К ним относятся метод главных звезд [9], метод иерархического сгущивания [10], непараметрические (ядерные) оценки плотности [11], вейвлет-преобразование [12,13].

В настоящей работе предложены два метода выявления групп звезд в пространствах координат и скоростей. Их можно отнести ко второму классу с точки зрения введенной выше классификации. Исследовались звезды каталога Hipparcos с измеренными лучевыми скоростями в окрестности Солнца радиусом 125 пк.

2. Описание методов. Рассматриваются пространства гелиоцентрических координат (X, Y, Z) и скоростей (U, V, W) . Оси X и U направлены к центру Галактики, Y и V - в направлении вращения Галактики, Z и W - к северному полюсу Галактики.

Первый метод выявления сгущений состоит в том, что фиксируется большой куб с ребром A и с центром в Солнце, в пределах которого осуществляется сканирование малым кубом с ребром a . Размеры последнего определяются из тех соображений, чтобы ожидаемое число звезд в его объеме было в среднем больше единицы, тем самым создается возможность выделять даже небольшие, но статистически значимые сгущения звезд. В процессе сканирования малый куб перемещается с шагом, равным его ребру, по всему объему, ограниченному большим кубом, и всякий раз подсчитывается число звезд, оказавшихся внутри него. Затем это число сравнивается с ожидаемым при случайном распределении.

Аналогичные действия производятся и во втором методе, который основан на вычислении взаимных расстояний между звездами каталога в пределах большого шара радиуса R . Вокруг каждой звезды строится малый шар радиуса r и подсчитывается число звезд, находящихся от нее на расстоянии, не превосходящем r . И после этого оно сравнивается с ожидаемым при случайном распределении. Для выявления сгущений на разных масштабах - более компактных или более разреженных группировок - в первом методе используются несколько значений параметра a , во втором, соответственно, параметра r . В настоящей работе исследование

производилось как первым, так и вторым методом, поэтому значения параметров a и r брались согласованно - так, чтобы объемы малого куба и соответствующего ему малого шара были примерно равны между собой.

Для оценки ожидаемого числа звезд в пространстве (X, Y, Z) была получена зависимость звездной плотности от расстояния до Солнца. Вокруг Солнца выделялись шаровые слои одинакового объема, равного $1/25$ объема шара радиусом 125 пк и определялась средняя плотность звезд внутри каждого слоя. Далее, полученная функция звездной плотности $D(r)$ аппроксимировалась полиномом методом наименьших квадратов. График этой функции приведен на рис.1. Точками изображены значения

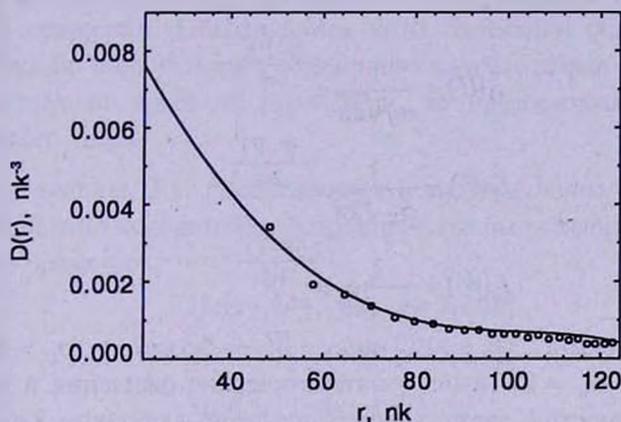


Рис.1. Функция звездной плотности до расстояния 125 пк от Солнца. Сплошная линия - аппроксимация полиномом 4-й степени.

функции, соответствующие серединам шаровых слоев равных объемов, сплошная линия - аппроксимирующий полином 4-й степени:

$$p_4(r) = A + Br + Cr^2 + Dr^3 + Er^4. \quad (1)$$

Значения коэффициентов приведены в табл.1. Поскольку функция звездной плотности восстановлена с расстояния 21 пк, то скопления выделялись начиная с этого расстояния и дальше.

Для анализа структуры пространства скоростей использовалась выборка звезд Hipparcos до 125 пк с известными лучевыми скоростями. Значения лучевых скоростей были взяты из входного каталога Hipparcos [14]. Нас

Таблица 1

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛИНОМА, АППРОКСИМИРУЮЩЕГО ФУНКЦИЮ ЗВЕЗДНОЙ ПЛОТНОСТИ

| | |
|---|-----------------------|
| A | $1.3 \cdot 10^{-2}$ |
| B | $-2.8 \cdot 10^{-4}$ |
| C | $1.3 \cdot 10^{-6}$ |
| D | $8.6 \cdot 10^{-9}$ |
| E | $-6.2 \cdot 10^{-11}$ |

интересовали движущиеся группы населения диска, поэтому было наложено ограничение на модуль гелиоцентрической скорости - отбрасывались звезды, имеющие гелиоцентрическую скорость больше 100 км/с. В данную выборку вошло 8785 звезд.

Ожидаемое число звезд n_e , приходящееся на единицу объема в пространстве скоростей, вычислялось для суперпозиции трех независимых нормальных распределений, задающих вероятность попадания каждой из компонент скорости звезды в единичный интервал скоростей, и нормировалось на N - общее число звезд выборки:

$$n_e = N f_1(U) f_2(V) f_3(W),$$

где

$$f_1(U) = \frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(U-\bar{U})^2}{2\sigma_U^2}},$$

$$f_2(V) = \frac{1}{\sigma_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-\bar{V})^2}{2\sigma_V^2}},$$

$$f_3(W) = \frac{1}{\sigma_W \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(W-\bar{W})^2}{2\sigma_W^2}}.$$

Здесь $\bar{U} = -1.4$ км/с, $\bar{V} = -12.1$ км/с, $\bar{W} = -0.5$ км/с; $\sigma_U = 30.5$ км/с, $\sigma_V = 20.4$ км/с, $\sigma_W = 15.4$ км/с - математические ожидания и стандарты компонент скоростей звезд рассматриваемой выборки. Компоненты скорости (U , V , W) отнесены к местному центроиду, т.е. исправлены за движение Солнца.

Если реальных сгущений звезд нет, то различия между значениями n_0 - наблюдаемое число звезд в пределах малого шара или куба и n_e - ожидаемое число звезд в пределах этого куба или шара определяются только случайными флуктуациями. Как известно (см., например, [15]), флуктуации случайных величин, т.е. в данном случае отклонения $n_0 - n_e$, приближенно описываются законом Пуассона с математическим ожиданием, равным ожидаемому числу звезд n_e , и стандартом, равным n_e . Это рассуждение справедливо для любого глобального распределения звезд.

Для оценки вероятности случайного отклонения m числа звезд в пределах малого куба или шара сканирования на наблюдаемую или большую величину от ожидаемого значения использовалось распределение Пуассона:

$$q = 1 - \sum_{m=0}^{n_0 - n_e - 1} \frac{n_e^m \cdot e^{-n_e}}{m!} = P(m \geq n_0 - n_e), \quad (2)$$

где n_0 - наблюдаемое число звезд в пределах малого шара или куба; n_e - ожидаемое число звезд в пределах этого куба или шара. Если $q < q_{\text{crit}}$ то в данной области имеется скопление звезд. Критические значения q_{crit} уровня значимости q , опираясь на которые выделялись группы в координатном

пространстве, принимались равными 0.01 и 0.05. Это соответствует вероятностям 99% и 95% того, что в пределах данного малого куба или шара имеется сгущение звезд. Для пространства скоростей значение q_{crit} принималось равным 0.001, что соответствует вероятности 99.9% того, что в пределах данного малого куба или шара имеется сгущение звезд.

Мы рассматривали только значительные сгущения звезд в пределах малых кубов (шаров). Поэтому количество звезд в них ограничивалось снизу. В координатном пространстве выделялись сгущения, содержащие более 10 звезд, в пространстве скоростей - более 50 звезд.

Для выделения самой группы в первом методе производилось объединение соседних малых кубов с повышенным содержанием звезд, согласно принятым критериям. Объединялись кубы, имеющие общую грань или общее ребро. Во втором методе объединялись малые шары, центры которых находятся друг от друга на расстоянии, не превосходящем $2r$, где r - радиус малого шара.

2. Результаты. 2.1. Распределение в координатном пространстве.

Для исследования координатного пространства были выбраны следующие значения параметров:

$$1) A = 144.3 \text{ пк}; a = 7.2 \text{ пк}, \quad (3)$$

$$2) A = 137.6 \text{ пк}; a = 8.6 \text{ пк}, \quad (4)$$

$$3) R = 125 \text{ пк}; r = 5 \text{ пк}, \quad (5)$$

$$4) R = 125 \text{ пк}; r = 7 \text{ пк}. \quad (6)$$

Сгущения, выделенные в координатном пространстве XYZ первым методом при значении $q_{crit}=0.05$, приведены в табл.2. Выявленные вторым методом при том же значении q_{crit} сгущения показаны в табл.3. В табл.2 во втором, третьем и четвертом столбцах приводятся координаты центров

Таблица 2

СГУЩЕНИЯ ЗВЕЗД В ПРОСТРАНСТВЕ КООРДИНАТ, ОБНАРУЖЕННЫЕ В ПРЕДЕЛАХ КУБОВ С $A=144.3$ пк (*) И С $A=137.6$ пк (**) ПРИ $q < 0.05$

| N п/п | X | Y | Z | r | l | b | Число звезд | Название | q | Прим. |
|----------|-----|----|-----|----|-----|-----|----------------|----------------------|-------------------|-------|
| 1 | -43 | 1 | -17 | 46 | 179 | -21 | 116 | Гиады | $3 \cdot 10^{-5}$ | * |
| 2 | -43 | 0 | -17 | 47 | 180 | -22 | 156 | | $7 \cdot 10^{-6}$ | ** |
| 3 | -18 | -4 | 4 | 19 | 191 | 11 | 12 | I | 0.005 | * |
| 4 | 13 | -4 | 13 | 19 | 342 | 43 | 17 | II | 0.007 | ** |
| 5 | -11 | 11 | 11 | 19 | 135 | 35 | 12 | IV | 0.005 | * |
| 6 | -4 | 13 | 22 | 25 | 108 | 58 | 13 | Большая Медведица | 0.033 | ** |
| 7 | 4 | -4 | 18 | 19 | 315 | 74 | 12 | IX | 0.005 | * |

выявленных сгущений X , Y , Z , в пятом - расстояния от Солнца до их центров, в шестом и седьмом - галактические долгота и широта центров, в восьмом - число звезд в скоплении, в девятом - его название. Значения уровня значимости q , соответствующие центральным частям скоплений, приведены в десятом столбце табл.2. Обозначения, приведенные в последних столбцах табл.2 и 3, показывают, при каких параметрах было выделено соответствующее скопление. В табл.2: * - параметры (3), ** - параметры (4), в табл.3: * - параметры (5), ** - параметры (6). В остальном обозначения в табл.3 те же, что и в табл.2.

Таблица 3

СГУЩЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ КООРДИНАТ В ШАРЕ С
РАДИУСОМ $R=125$ пк ПРИ $q < 0.05$

| N п/п | X | Y | Z | r | l | b | Название | q | Прим. |
|----------|------|----|-----|-----|-----|-----|----------------------|--------------------|-------|
| 1 | -103 | 24 | -45 | 116 | 167 | -23 | Плеяды | $2 \cdot 10^{-14}$ | * |
| 2 | -99 | 23 | -44 | 111 | 167 | -24 | | $4 \cdot 10^{-8}$ | ** |
| 3 | -43 | 0 | -17 | 46 | 180 | -22 | Гиалды | 10^{-11} | * |
| 4 | -43 | 1 | -17 | 46 | 179 | -21 | | 10^{-13} | ** |
| 5 | -7 | -6 | 85 | 86 | 221 | 83 | Волосы | $3 \cdot 10^{-13}$ | * |
| 6 | -8 | -6 | 86 | 87 | 217 | 83 | Вероники | $2 \cdot 10^{-6}$ | ** |
| 7 | -18 | -3 | 6 | 19 | 189 | 19 | I | 0.045 | * |
| 8 | -18 | -3 | 8 | 20 | 190 | 23 | | 0.037 | ** |
| 9 | 12 | -1 | 15 | 20 | 346 | 50 | II | 0.05 | * |
| 10 | 9 | 19 | -1 | 22 | 64 | -3 | III | $3 \cdot 10^{-4}$ | * |
| 11 | -12 | 18 | 3 | 22 | 123 | 8 | IV | 0.05 | * |
| 12 | -3 | 20 | 15 | 25 | 99 | 37 | Большая Медведица | 0.034 | * |
| 13 | -7 | 10 | 21 | 24 | 126 | 60 | | 0.033 | * |
| 14 | -6 | 11 | 21 | 25 | 117 | 58 | | 0.043 | ** |
| 15 | -7 | 19 | -2 | 20 | 109 | -7 | V | 0.025 | * |
| 16 | -28 | 20 | -20 | 40 | 145 | -30 | VI | $6 \cdot 10^{-4}$ | * |
| 17 | -6 | -2 | 49 | 50 | 203 | 83 | VII | 0.034 | ** |
| 18 | -1 | 5 | -32 | 32 | 84 | -81 | VIII | 0.01 | * |

На рис.2 изображены сгущения звезд в пространстве координат, обнаруженные вторым методом с использованием параметров (5). Приведены проекции на плоскости XY и XZ . При всех значениях параметров (3)-(6) выявляется рассеянное скопление Гиалды (Hyades). Это говорит о сильной концентрации звезд в нем, а также о его значительных размерах. Скопление Большой Медведицы (UMa) выявляется при сканированиях (4), (5), (6). Сканированием (5) выявляются две наиболее компактные его части.

Помимо известных скоплений - Гиалды, Большая Медведица, Волосы Вероники (Coma) - при значении $q_{crit} = 0.05$ были выделены девять новых скоплений - I - IX.

Скопления I, II и IV выявляются обоими методами, причем первым методом наиболее уверенно - на уровнях значимости 0.005, 0.007 и 0.005

соответственно, тогда как вторым методом сканированием (5) - на уровне 0.05. Это может свидетельствовать о различной чувствительности методов к выявлению неоднородностей, а также о том, что скопления I и IV более компактны, а II, наоборот, протяженнее по сравнению с масштабом

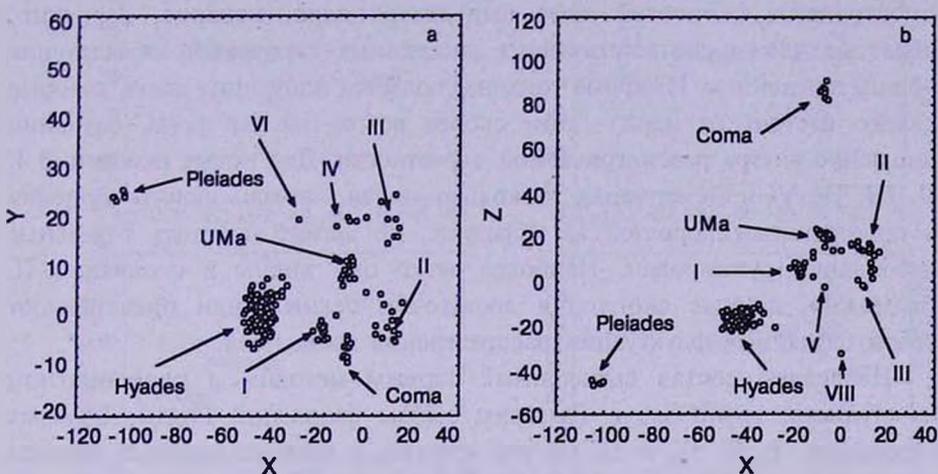


Рис.2. Сгущения в пространстве координат в шаре с $R = 125$ пк; $r = 5$ пк: а) проекция на плоскость XY ; б) проекция на плоскость XZ . На рисунке нанесены положения звезд - центров локальных сгущений с $q < q_{crit} = 0.05$.

сканирования (5). Достаточно надежно сканированием (5) выделены скопления III и VI (уровни значимости: $3 \cdot 10^{-4}$ и $6 \cdot 10^{-4}$). При сканировании шара ($R = 125$ пк) обнаруживаются более далекие скопления. Одно из них - известное скопление в Волосах Вероники, другое представляет собой близкую часть рассеянного скопления Плеяды.

Рассмотрим распределение членов ранее известных и некоторых из новых выделенных скоплений в пространстве скоростей. На рис.3 для

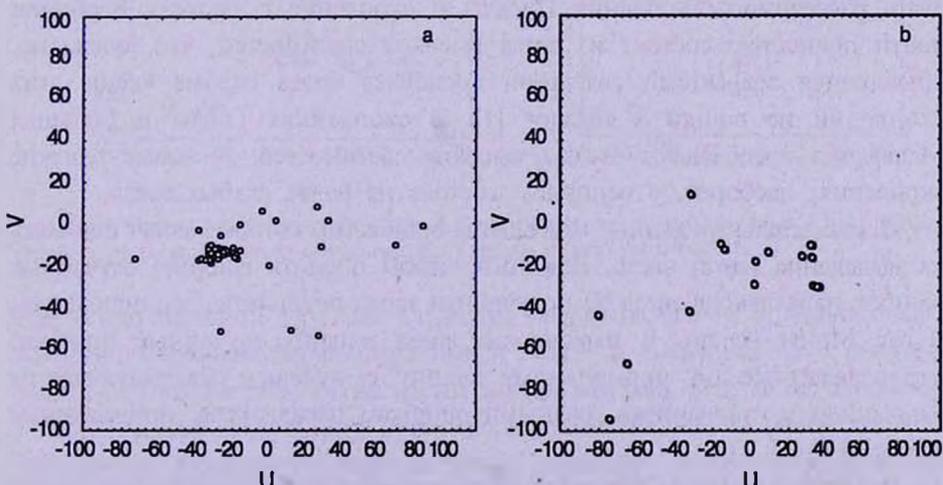


Рис.3. Распределение членов выделенных скоплений в пространстве скоростей в проекции на плоскость UV : а) Гиады, б) новое скопление II.

примера представлены скопления Гиady (а) и новое скопление II (b) в проекции на плоскость UV . Исследование показало, что члены скоплений Большая Медведица, Гиady, Волосы Вероники и Плеяды образуют движущиеся группы в пространстве скоростей. У данных скоплений в пространстве скоростей явно выделяется ядро, которое, вероятно, образуют члены соответствующих рассеянных скоплений, обладающие общим движением. И, кроме того, наблюдается популяция звезд, которые далеко отстоят от ядра - это, скорее всего, звезды фона, случайно попавшие внутрь рассматриваемой окрестности. Для новых скоплений I, II, III, IV, VI и IX ситуация несколько другая - звезды явного сгущения в пространстве скоростей не образуют, но можно заметить отдельные небольшие группировки. Наиболее четко они видны в скоплении II. Возможно, данные скопления достаточно бедные, или представляют собой случайные флуктуации распределения звезд поля.

Исследуем состав выявленных первым методом в координатном пространстве групп звезд. Разделим звезды скоплений Гиady, Большая Медведица, I, II, IV и IX на три группы, в одну из которых отнесем звезды-гиганты ($M \in [-4; 4]$, $B-V \in [0.8; 2]$), в другую - звезды главной последовательности высоких светимостей ($M \in [-4; 4]$, $B-V \in [-0.4; 0.8]$), а в третью звезды главной последовательности низких светимостей ($M \in [4; 16]$, $B-V \in [0.8; 2]$). Результаты проведенного таким образом анализа можно видеть на рис.4 в двух проекциях XU и XZ . На рис.4а представлены члены выделенных скоплений - звезды-гиганты. Количество звезд данного класса в выявленных скоплениях мало, что закономерно, присутствуют они в скоплениях Плеяды, Гиady и Волосы Вероники (одна звезда). Звезды высоких и низких светимостей, вошедшие в скопления, приведены на рис.4б,с. Нетрудно заметить, что выделенная нами близкая часть рассеянного скопления Плеяды и скопление в Волосах Вероники почти полностью состоят из звезд высоких светимостей, что, очевидно, объясняется эффектами селекции, поскольку более слабые члены этих скоплений не вошли в каталог [1]. В скоплениях Гиady и Большая Медведица преобладают звезды высоких светимостей. А новые близкие скопления, наоборот, в основном состоят из более слабых звезд.

Наблюдательные данные отягощены ошибками, которые могут повлиять на выделение групп звезд. Для того, чтобы оценить влияние случайных ошибок параллакс звезд на полученные нами результаты, мы используем метод Монте-Карло. В параллаксы звезд вносим случайные ошибки, распределенные по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и стандартами, равными ошибкам параллакс, приведенным в каталоге [1].

В табл.4 приведены сгущения, обнаруженные в пространстве координат сканированием (3) и (4) по выборке, смоделированной методом Монте-

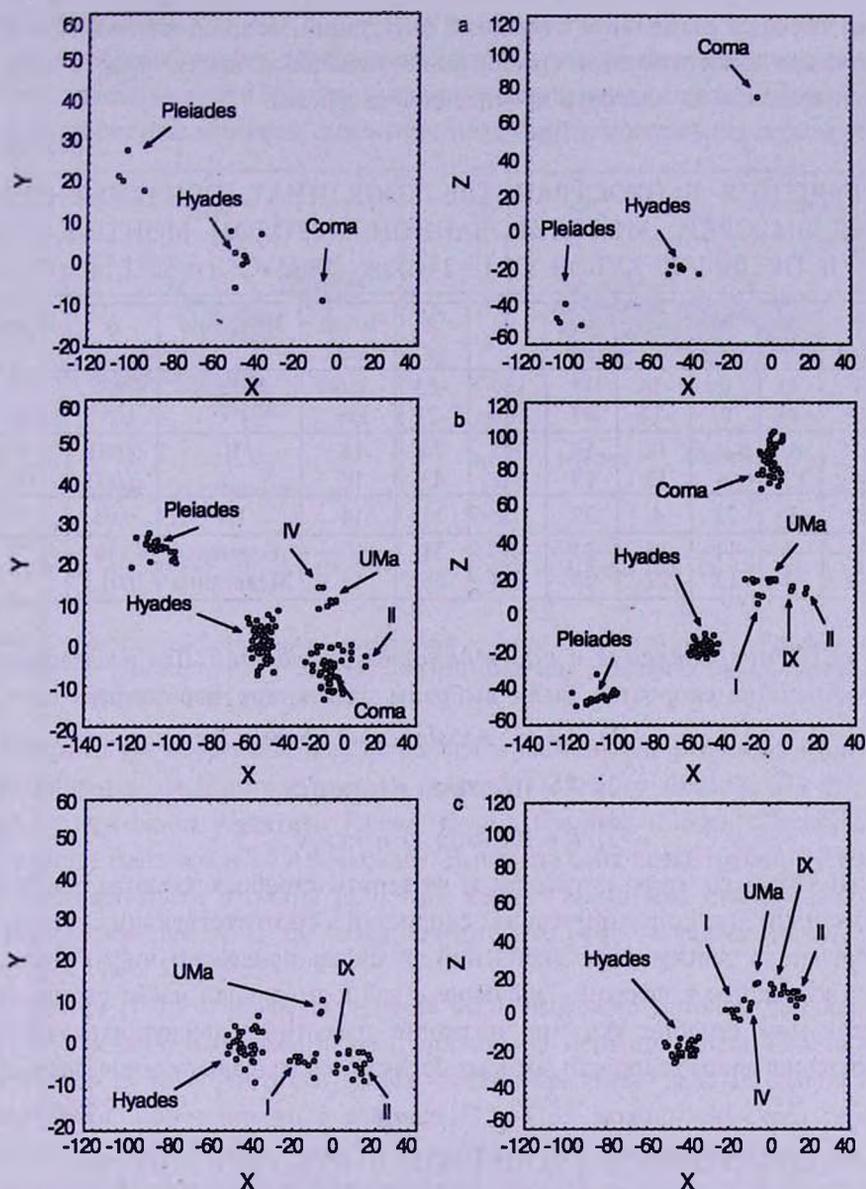


Рис.4. Члены выделенных скоплений в проекциях на плоскости XY и XZ : а) звезды-гиганты; б) звезды высоких светимостей; в) звезды низких светимостей.

Карло при значении $q_{crit} = 0.05$. Структура табл.4 аналогична структуре табл.2. Анализируя результаты, приведенные в табл.4, и сравнивая их с данными табл.2, можно заметить, что на уровне значимости 0.05 выявляются скопления Гиады, Большая Медведица и новое скопление II, причем скопление Большая Медведица выявляется гораздо более надежно ($q = 8 \cdot 10^{-4}$), чем при исследовании наблюдаемой выборки ($q = 0.033$). Данными видами сканирования не удалось выявить новые скопления - I, IV и IX. Возможно,

они являются результатом случайных флуктуаций звездной плотности, о чем косвенно свидетельствует сравнительно небольшое число звезд в них и распределение их членов в пространстве скоростей.

Таблица 4

СГУЩЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ КООРДИНАТ, ОБНАРУЖЕННЫЕ ДЛЯ ВЫБОРКИ, МОДЕЛИРОВАННОЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО, В ПРЕДЕЛАХ КУБОВ С $A=144.3$ пк (*) И С $A=137.6$ пк (**)

| N п/п | X | Y | Z | r | l | b | Число звезд | Название | q | Прим. |
|-------|-----|----|-----|----|-----|-----|-------------|-------------------|-------------------|-------|
| 1 | -43 | 0 | -18 | 47 | 180 | -23 | 115 | Гиады | 10^{-15} | * |
| 2 | -43 | 0 | -17 | 47 | 180 | -21 | 126 | | 10^{-12} | ** |
| 3 | 4 | -4 | 18 | 19 | 315 | 74 | 13 | II | 0.001 | * |
| 4 | 13 | -4 | 13 | 19 | 342 | 43 | 18 | | 0.003 | ** |
| 5 | 4 | 22 | 4 | 22 | 79 | 11 | 14 | III | 0.05 | ** |
| 6 | -4 | 11 | 18 | 21 | 108 | 58 | 13 | Большая Медведица | $8 \cdot 10^{-4}$ | * |
| 7 | -4 | 13 | 22 | 25 | 108 | 58 | 14 | | 0.013 | ** |

2.2. *Распределение в пространстве скоростей.* Для исследования пространства скоростей были выбраны следующие параметры:

$$1) A = 115.4 \text{ км/с}, a = 11.5 \text{ км/с}, \quad (7)$$

$$2) R = 100 \text{ км/с}, r = 5 \text{ км/с}, \quad (8)$$

$$3) R = 100 \text{ км/с}, r = 7 \text{ км/с}. \quad (9)$$

В табл.5 во втором, третьем и четвертом столбцах указаны значения компонент гелиоцентрических скоростей, соответствующих центрам выявленных движущихся скоплений, в пятом приведено число звезд, в них вошедших, в шестом - значение q для центральной части скопления, в седьмом столбце указаны названия известных движущихся групп, пространственные скорости которых согласуются со скоростями выделенных

Таблица 5

ДВИЖУЩИЕСЯ СКОПЛЕНИЯ В КУБЕ С $A=115.4$ км/с

| N п/п | U (км/с) | V (км/с) | W (км/с) | Число звезд | q | Название |
|-------|----------|----------|----------|-------------|--------------------|---------------------|
| 1 | -40.3 | -23.1 | -1.9 | 446 | $2 \cdot 10^{-16}$ | Гиады |
| 2 | -28.8 | -11.5 | -1.9 | 335 | $4 \cdot 10^{-10}$ | |
| 3 | -17.2 | -23.1 | -1.9 | 364 | $2 \cdot 10^{-7}$ | Ассоциация Центавра |
| 4 | -5.7 | -23.1 | -1.9 | 339 | 0.001 | Пляды |
| 5 | -5.7 | 0 | -1.9 | 120 | 0.02 | New Scl [13] |
| 6 | 5.9 | 0 | -1.9 | 416 | 10^{-12} | |
| 7 | 17.4 | 0 | -7.7 | 259 | 10^{-10} | Группа Сириуса |

нами группировок.

На рис.5 изображены движущиеся группы, выявленные сканированием (8) при значении $q_{crit} = 0.001$, приведены проекции на плоскости UV и UW . На данном рисунке нанесены положения звезд - центров локальных сгущений.

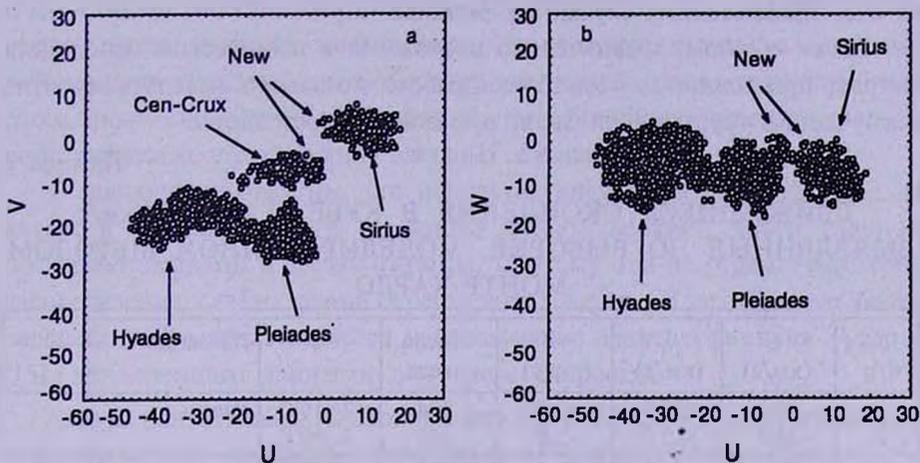


Рис.5. Движущиеся скопления, выявленные в шаре с $R = 100$ км/с; $r = 5$ км/с, в проекциях на плоскости UV и UW . На рисунке нанесены положения звезд - центров локальных сгущений с $q < q_{crit} = 0.001$.

Опираясь на выбранные параметры сканирования, мы можем выделить пять основных движущихся групп в пределах 125 пк от Солнца. Из этих групп четыре ранее известны: Гиады, группа Сириуса (Sirius), Плеяды и Ассоциация Центавра (Cen Associations). Выявлена одна новая группа (New), обнаруженная также в работе [13]. При данных масштабах сканирования эта группа разделяется на две части, значительно различающиеся по числу звезд (см. табл.5, N5,6).

В работе [13] это новое скопление было выделено методом вейвлет-анализа с различными масштабами, причем на меньших масштабах оно разделялось на несколько составных частей. Сравнивая данные табл.5 с результатами, полученными в работах [7] и [13], можно убедиться, что результаты координаты, соответствующие известным скоплениям, согласуются в пределах ошибок методов.

Используем метод Монте-Карло для оценки влияния случайных ошибок определения компонент пространственной скорости звезд на полученные нами результаты. Предполагаем, что средняя ошибка в определении каждой из компонент пространственной скорости равна 3 км/с (см. дискуссию в [10]). В компоненты пространственных скоростей звезд вносим случайные ошибки, распределенные по нормальному закону с нулевыми математическими ожиданиями и стандартами, равными средней ошибке определения компоненты пространственной скорости. Результаты, полученные по модельной выборке, приведены в табл.6. Выявлены пять

основных движущихся групп. Из сравнения данных табл.5 и 6 видно, что число звезд, вошедших в движущиеся группы, обнаруженные по модельной выборке, меньше, чем в случае наблюдаемой выборки и увеличились значения q . Это связано с увеличением разброса скоростей звезд потоков за счет привнесенных случайных ошибок.

Таким образом, сравнительно несложные в техническом отношении методы, предложенные в настоящей работе, позволяют выделять вероятно неслучайные группировки звезд в фазовом пространстве.

Таблица 6

**ДВИЖУЩИЕСЯ СКОПЛЕНИЯ В КУБЕ С $A = 115.4$ км/с,
ВЫЯВЛЕННЫЕ ПО ВЫБОРКЕ, МОДЕЛИРОВАННОЙ МЕТОДОМ
МОНТЕ-КАРЛО**

| N п/п | U (км/с) | V (км/с) | W (км/с) | Число звезд | q | Название |
|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------------|---------------------|
| 1 | -40.3 | -23.1 | -2.0 | 304 | $7 \cdot 10^{-10}$ | Гиады |
| 2 | -28.7 | -12.0 | -2.0 | 192 | $3 \cdot 10^{-15}$ | |
| 3 | -17.2 | -23.1 | -2.0 | 359 | $5 \cdot 10^{-7}$ | Ассоциация Центавра |
| 4 | -5.6 | -23.1 | -13.5 | 161 | 0.009 | Плеяды |
| 5 | -5.6 | 0 | -8.2 | 228 | 0.055 | New Scl |
| 6 | 5.9 | 5.8 | -8.2 | 393 | 10^{-7} | [13] |
| 7 | 17.5 | 0 | -7.7 | 232 | 10^{-10} | группа Сириуса |

3. *Обсуждение.* В настоящей работе известные методы сканирования "бегущим" кубом или шаром применяются для поиска вероятно неслучайных группировок звезд в фазовом пространстве в окрестности Солнца радиусом 125 пк. Есть одно важное различие при использовании куба и шара: в первом случае кубы не пересекались между собой, а во втором случае шары центрировались на каждую из звезд выборки. Сравнение двух этих методов показывает согласие, что говорит в пользу реальности выделяемых группировок звезд.

Наряду с известными рассеянными скоплениями Гиады, Плеяды, Волосы Вероники, Большая Медведица удалось найти несколько новых групп звезд. Однако анализ распределения членов некоторых новых групп в пространстве скоростей показал, что скорости звезд существенно различаются и можно выделить лишь небольшие группировки, которые наиболее четко видны в новом скоплении П. По-видимому, новые сгущения I, III, IV, VI, IX в координатном пространстве являются флуктуациями, но некоторые из них можно отнести к бедным скоплениям, так как в них присутствует небольшое количество кинематически связанных между собой звезд.

Как видно, некоторые движущиеся группы сливаются между собой. Это, вероятно, обусловлено масштабом сканирования. И для более

четкого выделения движущихся групп необходимо проводить исследование на меньших масштабах, для чего необходимы и более точные значения компонент скоростей.

Ядра движущихся групп Гиады, Плеяды, группа Сириуса ассоциируются с известными рассеянными скоплениями. Выделены еще две движущиеся группы звезд меньшей численности, не отождествляемые с близкими рассеянными скоплениями. Возможно, это остатки корон разрушившихся рассеянных скоплений или части более обширных пространственно-кинематических структур типа звездных комплексов.

В заключение отметим, что использованная нами выборка звезд из каталога [1] содержит в основном звезды верхней части главной последовательности и звезды-гиганты. Поэтому она не отражает фазовое распределение слабых звезд окрестности Солнца. В этом плане более перспективным представляется использование звезд из каталога Tycho 2 [15], дополненного данными о лучевых скоростях.

Авторы признательны А.А.Токовину и В.В.Витязеву за конструктивную критику, которая позволила значительно улучшить качество статьи.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Астрономический институт им. В.В.Соболева,
Россия, vor@astro.spbu.ru

SEARCH FOR THE STELLAR GROUPS IN THE SOLAR NEIGHBOURHOOD

E.E.KAZAKEVICH, V.V.ORLOV

Two methods for finding star groups in phase space are suggested. Stars of the Hipparcos Catalogue with known radial velocities within 125 parsecs from the Sun were under investigation. We have found 13 groups in coordinate space and 5 moving groups in velocity space. The results are compared with those of other authors.

Key words: *stars:groups - stars:coordinates - stars:velocities*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.A.C.Perryman et al.*, The Hipparcos and Tycho Catalogues: ESA Publ. Div., Noordwijk, 1997.
2. *D.H.P.Jones*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **152**, 231, 1971.
3. *J.H.J. de Bruijne*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **306**, 381, 1999.
4. *S.Vasilevskis, A.Klemola, G.Preston*, Astrophys. J., **63**, 387, 1958.
5. *A.Fresneau*, Astrophys. J., **85**, 66, 1980.
6. *B.F.Jones, M.F.Walker*, Astrophys. J., **95**, 1755, 1988.
7. *W.Dehnen*, Astrophys. J., **115**, 2384, 1998.
8. *R.Ноогерверф, L.A.Aguilar*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **306**, 394, 1999.
9. *Т.А.Агекян, В.В.Орлов*, Астрон. ж., **61**, 60, 1984.
10. *В.В.Орлов, И.Е.Панченко, А.С.Рассторгуев, А.В.Яцевич*, Астрон. ж., **72**, 495, 1995.
11. *B.Chen, J.Torra, F.Figueras, R.Asiaín*, in "Structure & evolution of Stellar Systems": eds. Т.А.Агекян, А.А.Муллари, В.В.Орлов, St. Petersburg Univ. Press, St. Petersburg, 118, 1997.
12. *E.Chereul, M.Crézé, O.Bienaymé*, Astron. Astrophys., **340**, 384, 1998.
13. *E.Chereul, M.Crézé, O.Bienaymé*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **135**, 5, 1999.
14. ESA, The Hipparcos Input catalogue, ESA SP-1136, 1992.
15. *Т.А.Агекян*, Теория вероятностей для астрономов и физиков, Наука, М., 1974.