

УДК 524.4

Оценка расстояния до скопления Ясли геометрическим методом

А. В. Локтин, Н. В. Маткин

Путем численного моделирования исследована возможность применения геометрического метода для определения расстояния до скопления Ясли. Методом Герцшпрунга получена оценка $r=175\pm 47$ пк. Точность определения можно заметно повысить уточнением собственных движений периферийных членов скопления.

ESTIMATION OF PRAESEPE CLUSTER DISTANCE BY GEOMETRICAL METHOD, by Loktin A. V., Matkin N. V. — The capability of distance estimation by the geometrical method is verified using numerical modelling for the case of Praesepe cluster. The distance obtained by Hertzsprung method is $r=175\pm 47$ pc. The accuracy can be made better by the improvement of the proper motions of cluster periphery members.

Известно, что положение начальной главной последовательности в настоящее время определяется значением модуля расстояния скопления Гиады. Однако эта величина все еще определена недостаточно надежно [2, 4]. В [5] показано, что различные эффекты (такие, как сжатие или расширение скопления и его возможное вращение) могут привести к ошибке определения модуля расстояния Гиад геометрическим методом до 0.3^m . Поэтому важно определить геометрическим методом расстояние хотя бы еще до одного скопления, так как трудно предположить, что два скопления могут одинаково вращаться или изменять свои линейные размеры. Таким скоплением естественно выбрано скопление Ясли. Оно имеет наибольшее после скопления Гиады отношение лучевой скорости к расстоянию v_R/r_c , что определяет возможность применения геометрических методов.

Для получения оценки расстояния до скопления выбран метод Герцшпрунга [2]. В этом случае расстояние скопления от Солнца, лучевая скорость и величины, характеризующие «эффект перспективы», связаны следующим выражением:

$$r = -0.4208 v_R \operatorname{tg}(\theta/2) / \mu_\theta, \quad (1)$$

где r — расстояние данного члена скопления от Солнца, пк; v_R — лучевая скорость скопления, км/с; μ_θ — радиальная составляющая собственного движения звезды относительно центра скопления, "/год; θ — угловое расстояние звезды от центра скопления.

Из формул сферической тригонометрии легко получить выражение для вычисления θ :

$$\cos \theta = \sin \delta_c \sin \delta + \cos \delta_c \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_c), \quad (2)$$

где α_c и δ_c — соответственно прямое восхождение и склонение центра скопления; α и δ — то же для данной звезды. Дифференцирование выражения (2) по времени приводит к формуле для вычисления μ_θ :

$$\begin{aligned} -\mu_\theta \sin \theta &= \mu_\delta [\sin \delta_c \cos \delta - \cos \delta_c \sin \delta \cos(\alpha - \alpha_c)] + \\ &+ \mu_{\delta_c} [\cos \delta_c \sin \delta - \sin \delta_c \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_c)] + \\ &+ (\mu_{\alpha_c} \cos \delta - \mu_\alpha \cos \delta_c) \sin(\alpha - \alpha_c), \end{aligned} \quad (3)$$

где μ_{α_c} и μ_{δ_c} — компоненты собственного движения центра скопления, "/год; μ_α и μ_δ — то же для данной звезды.

Метод Герцшпрунга имеет определенные преимущества перед методами, в которых используется положение радианта скопления, и методом градиентов собственных движений [3]. Методом Герцшпрунга непосредственно (без привлечения промежуточных величин) получаем оценки расстояния для каждой из рассматриваемых звезд. Изучение частотных распределений таких оценок позволит определить влияние ошибок наблюдений.

Для проверки применимости метода Герцшпрунга к такому относительно удаленному от Солнца скоплению, как Ясли, и для исследова-

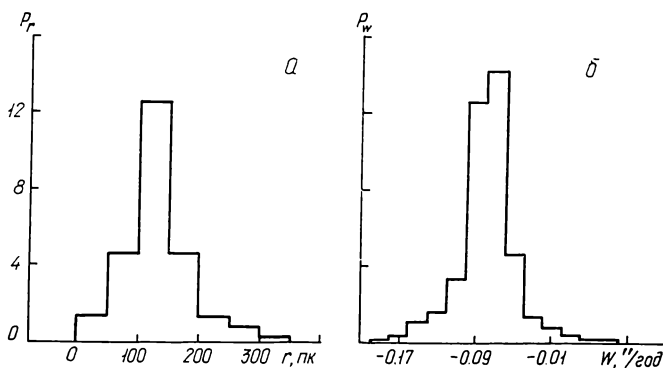


Рис. 1. Частотные распределения для модели движения скопления в целом: а — оценок индивидуальных расстояний звезд r ; б — величин W

ния влияния ошибок наблюдательных данных на результат проведена серия численных экспериментов. Особенно тщательно необходимо исследовать вопрос о получении оценки расстояния центра скопления по оценкам индивидуальных расстояний, вычисляемых по формуле (1), которая выведена для плоского скопления, так как величины μ_θ рассчитываются для одинаковых значений μ_{α_c} и μ_{δ_c} , несмотря на различия положений звезд на луче зрения. Рассмотрены два способа усреднения индивидуальных оценок расстояний.

Для моделирования скопления с помощью датчика случайных чисел, распределенных с плотностью вероятности вида $y \propto \exp(-x/x_0)$, $x > 0$, $x_0 = \text{const} > 0$, задавались прямоугольные координаты звезд, которые затем преобразовывались в экваториальные. «Эффект перспективы» моделировался изменением прямоугольных координат звезд со временем, причем изменения взяты согласно наблюдательным данным для скопления Ясли. Расстояние до скопления принималось равным $r_c = 165$ пк, лучевая скорость $v_R = +32.7$ км/с, компоненты собственного движения скопления $\mu_{\alpha_c} = -3.52''/100$ лет, $\mu_{\delta_c} = -2.26''/100$ лет, координаты центра скопления $\alpha_c = 8^h 37.6^m$, $\delta_c = +19^\circ 50.4'$. Рассмотрены следующие случаи.

1. Модель движения скопления в целом. В координаты звезд вводились изменения, соответствующие движению скопления в целом. Вычисления выполнены для 4000 модельных звезд. Частотное распределение оценок расстояний до звезд, вычисленных по формулам (1) — (3), приведено на рис. 1, а. На рис. 1, б показано распределение величин $W = \mu_\theta / \text{tg}(\theta/2)$, не зависящих от θ (см. выражение (1)). С точностью до постоянного множителя величина W совпадает с тригонометрическим параллаксом данной звезды. На рисунках по оси ординат отложены суммы весов оценок, причем веса вводились пропорционально θ согласно значениям дисперсии оценок расстояний в различных интервалах θ . Необходимость введения весов вызвана малостью величины

$\sin \theta$ для малых θ , что влияет на определение μ_0 по формуле (3). Среднее взвешенное расстояние, вычисленное по гистограмме на рис. 1, *a*, равно $r_r = 131$ пк; та же величина, вычисленная по среднему взвешенному значению W ($\bar{W} = -0.079$) равна $r_w = 174$ пк. Средние квадратичные ошибки величин r_r и r_w здесь составляют 0.2 пк. Оба способа усреднения привели к смещенным оценкам среднего расстояния, хотя смещение r_w несколько меньше. Смещение объясняется отмеченным выше эффектом протяженности скопления по лучу зрения. Этот же эффект приводит к заметной дисперсии оценок расстояний до звезд

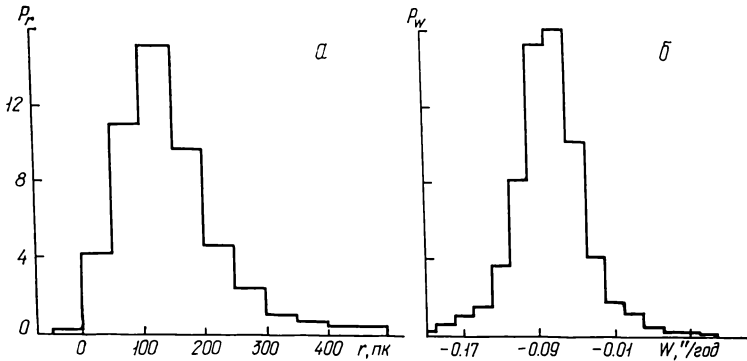


Рис. 2. Частотные распределения для модели, включающей внутреннюю дисперсию скоростей звезд в скоплении: *a* — оценок индивидуальных расстояний звезд r ; *b* — величин W

при отсутствии ошибок наблюдений. Умножая компоненты собственного движения на величину $r_c/r_{зв}$, мы сводим все звезды к одному расстоянию (r_c — расстояние от наблюдателя до центра скопления, $r_{зв}$ — то же

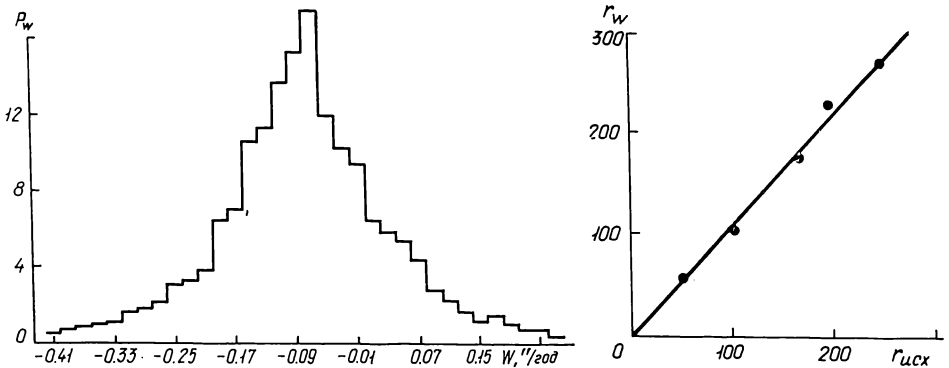


Рис. 3. Частотное распределение оценок W в общем случае для $r_{исх} = 165$ пк

Рис. 4. Связь исходных и вычисленных оценок расстояния до скопления

для данной звезды), дисперсия уменьшается до объяснимой ошибками округления. Так как в реальном случае мы не можем рассчитывать на знание точных положений членов скопления на луче зрения, то далее множители $r_c/r_{зв}$ в расчеты не вводились. Однако для скопления Гиады это отношение, вероятно, можно оценить из фотометрических данных по отклонению звезды от средней для скопления главной последовательности.

2. Модель с внутренней дисперсией скоростей. Для моделирования реально существующей дисперсии скоростей в прямоугольные координаты

наты звезд вводились смещения, соответствующие сферически-симметричному распределению скоростей с дисперсией 0.3 км/с по каждой оси. Распределения оценок расстояний r и величин W приведены на рис. 2. По сравнению с первой моделью распределения величин r и W стали заметно шире. Оценки расстояний вновь сместились. Получены значения $r_r = 147 \pm 1$ пк, $r_w = 179 \pm 1$ пк. Необходимо отметить малое смещение оценки r_w от найденной в первом эксперименте. Данный эксперимент выполнен для 10^4 модельных звезд.

3. Общий случай. В собственные движения введены нормально распределенные ошибки. Для исследования причины возникновения смещений оценок сделаны расчеты с введенным ошибок собственных движений с дисперсией 0.002"/год, соответствующей ошибкам движений членов скопления Ясли в каталоге [1]. При этом расчеты проводились для различных значений исходного расстояния. В каждом эксперименте использовано 10^4 модельных звезд. Распределение оценок W для общего случая представлено на рис. 3. Выяснилось, что значение смещения оценки r_w зависит от исходного расстояния. Зависимость смещения оценки r_w от исходного расстояния $r_{исх}$ показана на рис. 4.

Для определения влияния на результат ошибок в наблюдаемых собственных движениях выполнены расчеты с различными значениями дисперсии ошибок. Рассмотрены следующие ошибки: $\sigma_\mu = 0.0$, 0.002, 0.006 и 0.010"/год. Оценки r_w для этих случаев соответственно равны 177 ± 1 , 176 ± 3 , 173 ± 2 и 169 ± 7 пк. Все вычисления проведены с различными последовательностями случайных чисел. Видно, что влияние ошибок в наблюдательных данных на смещение величины r_w оказывается малым, что объясняется симметричностью влияния ошибок μ_0 на эту величину. Смещение оценок r_w от исходного расстояния практически полностью объясняется эффектом протяженности скопления по лучу зрения. При получении отмеченного выше ряда значений численности модельных звезд изменялись от 10^4 для $\sigma_\mu = 0$ до $5.2 \cdot 10^4$ для $\sigma_\mu = 0.010$. Значение r_r под влиянием случайных ошибок собственных движений смещается очень сильно. Так, для $\sigma_\mu = 0.002$ имеем $r_r = 81 \pm 4$ пк, и получить разумную оценку расстояния до скопления, непосредственно усредняя индивидуальные расстояния звезд, вряд ли возможно. Для больших значений σ_μ смещение r_r еще больше, и в отдельных экспериментах при $\sigma_\mu = 0.010$ получаются отрицательные r_r . Слабая зависимость r_w от ошибок и предсказуемость смещения этих оценок с изменением расстояния позволяют оценить геометрическим методом расстояния до более далеких скоплений, чем скопление Гиады.

Для оценки расстояния скопления Ясли от Солнца по реальным наблюдательным данным использован составленный нами сводный каталог собственных движений членов скопления Ясли [1]. Первая часть каталога содержит данные о 189 звездах со средней ошибкой собственных движений около 0.002"/год. К сожалению, наиболее точны собственные движения лишь у звезд из центральных областей скопления, к периферии скопления точность собственных движений заметно уменьшается. Применение метода Герцшпрунга дало оценку расстояния до скопления $r = 190 \pm 47$ пк. Эта оценка получена по среднему значению W . Введение поправки за протяженность, найденной по рис. 4, приводит к значению $r = 175$ пк. Большие случайные ошибки собственных движений периферийных членов скопления и, возможно, вращения скопления дали большие случайные ошибки. При получении оценки расстояния использовались указанные выше значения координат и движения скопления в целом.

Правдоподобность полученного результата вселяет надежду, что уточнение собственных движений периферийных членов скопления Ясли реально может привести к существенно более надежному результату, а значит, и к уточнению шкалы расстояний звездных скоплений.

В приведенную выше оценку ошибки определения расстояния не включена ошибка лучевой скорости скопления вследствие малого ее влияния на результат.

Из изложенного можно сделать вывод: для уточнения шкалы звездных расстояний необходимо определить точные собственные движения периферийных членов скопления Ясли и некоторых других звездных скоплений, имеющих максимальные значения отношения v_R/r_c .

Все расчеты выполнены на ЭВМ ЕС-1033 Вычислительного центра Уральского университета.

1. Локтин А. В., Маткин Н. В. Сводный каталог собственных движений звезд скопления Ясли.— Свердловск, 1986.— 37 с.— (Рукопись деп. в ВИНТИИ, № 3224-В).
2. Холопов П. Н. Звездные скопления.— М.: Наука, 1981.— 480 с.
3. Upton E. K. L. Calibration of the Hyades — Praesepe main sequence by a new treatment of the stellar motions // *Astron. J.*— 1970.— 75, N 10.— P. 1097—1115.
4. VandenBerg D. A., Bridges T. J. Theoretical zero-age main sequences applied to the Pleiades, Praesepe, and Hyades star clusters // *Astrophys. J.*— 1984.— 278, N 2.— P. 679—688.
5. Wayman P. A. The Hyades cluster parallax // *Publs Astron. Soc. Pacif.*— 1967.— 79, N 467.— P. 156—167.

Астрон. обсерватория
Урал. ун-та им. А. М. Горького, Свердловск

Поступила в редакцию 04.11.86,
после доработки 10.05.87

НОВЫЕ КНИГИ

Альберт Ю. В. СПИСКИ ЛИТЕРАТУРЫ В НАУЧНЫХ ИЗДАНИЯХ. СОСТАВЛЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ

Киев: Наук. думка, 1988 (I кв).— 11 л.— 70 к.

Даны рекомендации по составлению и редакционно-техническому оформлению прикнижных и пристатейных списков литературы в научных изданиях; приведены примеры библиографического описания различных видов документов в списках литературы и наиболее распространенные варианты их построения, сокращения названий отечественных издательств, принятые в библиографическом описании, другие справочные сведения. Имеется предметный указатель.

Для научных, инженерно-технических и редакционно-издательских работников, аспирантов, преподавателей и студентов вузов, а также для библиографов, библиотечарей, специалистов информационных служб, книговедов и науковедов, всех, кого интересует современное стандартное библиографическое описание и его практическое применение.

Предварительные заказы на эту книгу принимают все магазины книготоргов, «Книга — почтой» и «Академкнига», а также магазины — опорные пункты издательства: «Наукова думка» (252001 Киев 1, ул. Кирова, 4); «Книжный мир» (310003 Харьков 3, пл. Советской Украины, 2/2); «Техническая книга» (270001 Одесса 1, ул. Ленина, 17); № 200 (340048 Донецк 48, ул. Артема, 147а); № 19 (290006 Львов 6, пл. Рынок, 10).

Магазины в Киеве и Львове высылают книги иногородним заказчикам наложенным платежом.