

НЕРАЗРЕШЕННЫЕ ДВОЙНЫЕ И КРАТНЫЕ СИСТЕМЫ В РАССЕЯННОМ СКОПЛЕНИИ ПЛЕЯДЫ

А. Ф. Селезнев¹, А. А. Малофеева¹, Дж. Карраро²
¹Уральский федеральный университет, ²Университет Падуи

Диаграмма (H-W2)-W1 — W2-(BP-K) используется для поиска неразрешенных двойных и кратных систем в скоплении Плеяды в интервале масс главных компонент от 0.5 до 1.8 масс Солнца. Доля двойных систем составляет от 0.54 ± 0.11 до 0.70 ± 0.14 , доля систем большей кратности — от 0.10 ± 0.00 до 0.14 ± 0.01 . Отношение масс компонент двойных систем может быть аппроксимировано степенным законом с показателем степени от -0.53 ± 0.10 до -0.63 ± 0.22 . Среди двойных систем с массой главного компонента менее 0.5 масс Солнца имеется много систем с коричневым карликом в качестве вторичного компонента.

UNRESOLVED BINARY AND MULTIPLE SYSTEMS IN THE PLEIADES OPEN CLUSTER

A. F. Seleznev¹, A. A. Malofeeva¹, G. Carraro²
¹Ural Federal University, ²Padova University

The (H-W2)-W1 — W2-(BP-K) diagram is used to search for unresolved binaries and multiples in the Pleiades cluster in the range of primary component masses from 0.5 to 1.8 solar masses. The ratio of binary systems is from 0.54 ± 0.11 to 0.70 ± 0.14 . The ratio of systems with higher multiplicity ranges from 0.10 ± 0.00 to 0.14 ± 0.01 . The component mass ratio can be approximated by a power law with an exponent from -0.53 ± 0.10 to -0.63 ± 0.22 . Among binary systems with a primary component mass less than 0.5 solar masses, there are many systems with a brown dwarf as a secondary component.

Модель звездного скопления

Предлагаемый метод поиска неразрешенных двойных звезд основан на том, что неразрешенная двойная система должна иметь небольшой инфракрасный избыток в спектре по сравнению с одиночной звездой, масса которой равна массе главного компонента двойной. Этот факт был использован в работе [1] для того, чтобы с помощью аппроксимации наблюдаемых распределений энергии в спектре звезды определять массы компонент неразрешенной двойной системы. В настоящей работе для поиска неразрешенных двойных систем и для определения отношения масс компонент q используется диаграмма (H-W2)-W1 — W2-(BP-K), на которой неразрешенные двойные хорошо отделяются от одиночных звезд даже для небольших значений q . Фотометрические индексы, откладываемые по осям этой диаграммы, составлены из звездных величин оптического и ближнего инфракрасного диапазонов.

Для того чтобы найти подходящую диаграмму, была создана модель звездного скопления, состоящая из 200 одиночных и 200 двойных звезд. Массы одиночных звезд и главных компонент двойных распределяются в соответствии с функцией масс Солпитера в пределах от 0.1 до 6.8 масс Солнца. Массы вторичных компонент определяются в пределах от 0.1 массы Солнца до массы главного компонента в соответствии с равномерным

распределением q . Для звезд модели был составлен фотометрический каталог, включающий звездные величины в полосах U, B, V, R, u, g, r, i, z, G, BP, RP, J, H, K_s , W1, W2 на основе таблиц теоретических изохрон [2] для изохроны с возрастом $5 \cdot 10^7$ лет. Звездные величины двойных звезд определялись по формулам, полученным на основе формулы Погсона.

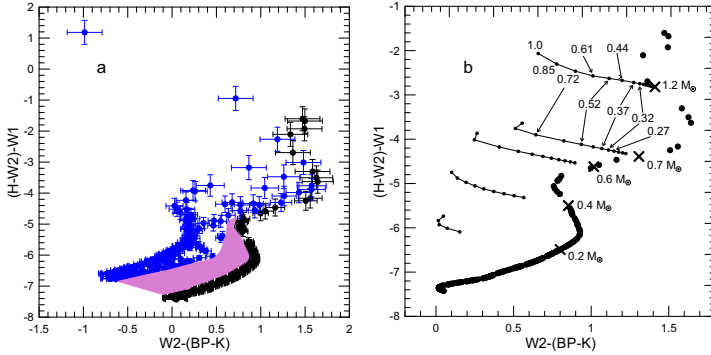


Рис. 1. Диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 для модели скопления: *a* — черные точки — одиночные звезды; синие точки — двойные звезды. Область, закрашенная сиреневым цветом, свободна от двойных звезд из-за отсутствия данных о звездных величинах для объектов с массой меньше 0.1 массы Солнца. Бары ошибок соответствуют типичным ошибкам индексов, рассчитанным на основе выборки вероятных членов скопления Плеяды (см. ниже); *b* — отклонение двойных звезд от линии одиночных звезд в зависимости от отношения масс компонент q . Справа подписаны массы главного компонента

Диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 для модели скопления показана на рис. 1, *a*. Для этой диаграммы были рассчитаны линии отклонения неразрешенной двойной звезды от линии одиночных звезд (рис. 1, *b*).

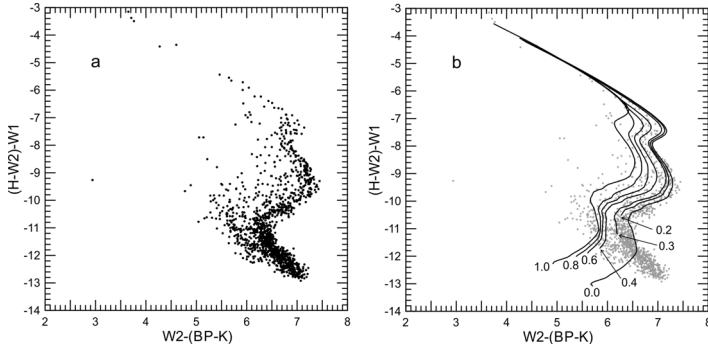


Рис. 2. Диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 для скопления Плеяды (*a*); линии постоянных значений q , наложенные на диаграмму Плеяд (*b*)

Неразрешенные двойные в скоплении Плеяды

На рис. 2, *a* показана диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 для скопления Плеяды. В качестве выборки вероятных членов скопления используется пересечение выборок [3, 4]. На рис. 2, *b* на диаграмму Плеяд наложены линии постоянных значений q , рассчитанные также на основе таблиц теоретических изохрон [2], но для возраста $\log t = 8.1$ (t — в годах), соответствующего возрасту Плеяд. Для наложения изолиний q были использованы расстояние и избыток цвета Плеяд из каталога [5].

На основании рис. 2, *b* можно сделать следующие выводы. Во-первых, диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 не годится для поиска неразрешенных двойных звезд с массивными компонентами, так как в этой области линии постоянных значений q сливаются. Во-вторых, в области маломассивных звезд линия одиночных звезд (изохрона) не совпадает с последовательностью скопления, что также не позволяет использовать диаграмму в этой области. По нашей оценке, диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 может быть использована для поиска неразрешенных двойных в интервале масс главных компонент от 0.5 до 1.8 масс Солнца. В-третьих, в нижней части диаграммы Плеяд, в отличие от диаграммы для модели скопления, нет незаполненного пространства. Это значит, что в Плеядах много неразрешенных двойных систем с вторичными компонентами, имеющими массу менее 0.1 массы Солнца, в том числе с коричневыми карликами.

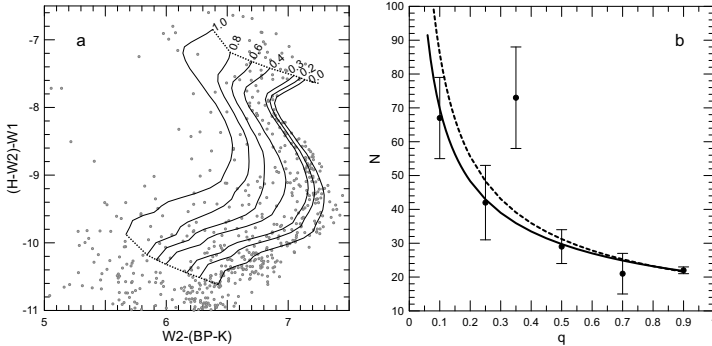


Рис. 3. Диаграмма W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 для скопления Плеяды в интервале масс главных компонент от 0.5 до 1.8 масс Солнца с наложенными изолиниями q (*a*). Распределение q и его аппроксимация степенным законом. Сплошная линия — звезды между изолиниями $q = 0$ и $q = 0.2$ рассматриваются как двойные. Штриховая линия — эти же звезды рассматриваются как одиночные (*b*)

На рис. 3, *a* на диаграмме W2-(BP-K) — (H-W2)-W1 Плеяд показаны изолинии отношения масс компонент q в интервале масс главных компонент от 0.5 до 1.8 масс Солнца. Эта диаграмма использовалась для подсчета количества неразрешенных двойных систем с разными значениями q . Очень важное значение в нашем исследовании имеет аккуратный учет ошибок фотометрии. С этой целью мы проводили подсчеты пять раз. Первый раз подсчеты проводились со значениями фотометрических индексов, рассчитанными на основе звездных величин из каталога [3] (рис. 3, *a*). Затем подсчеты четыре раза проводились со значениями индексов, смещенными для каждой звезды в разные стороны в соответствии с величиной их ошибок, рассчитанных по значениям случайных ошибок фотометрии, приведенным в [3].

Звезды слева от линии $q = 1.0$ рассматриваются как неразрешенные кратные звезды с

кратностью более двух. Звезды справа от линии $q = 0.0$ рассматриваются как одиночные звезды. Результаты подсчетов показаны на рис. 3, *b*. Сплошная линия показывает аппроксимацию распределения q степенным законом с показателем степени -0.53 ± 0.10 . Общая доля двойных составляет $\alpha = 0.70 \pm 0.14$, а доля кратных звезд с кратностью более двух (по отношению ко всем кратным звездам) $\beta = 0.10 \pm 0.00$.

Штриховая линия показывает аппроксимацию распределения q в предположении, что звезды, расположенные между линиями $q = 0.0$ и $q = 0.2$, тоже являются одиночными. В этом случае показатель степени равен -0.63 ± 0.22 , доля двойных $\alpha = 0.54 \pm 0.11$, а доля кратных звезд с кратностью более двух есть $\beta = 0.14 \pm 0.01$.

Мы получили долю двойных в Плеядах, намного большую, чем предыдущие исследователи [6–8]. Это можно объяснить тем, что с помощью диаграммы W2-(BP-K) – (H-W2)-W1 мы можем обнаруживать неразрешенные двойные системы с маленькими значениями q . При этом доля кратных звезд с кратностью более двух, полученная нами, меньше, чем результат Токовинина [9] для карликов поля спектральных классов F и G ($\beta = 0.28$).

Подробная статья по результатам исследования будет опубликована в The Astronomical Journal.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0030.

Библиографические ссылки

- [1] *Thompson Benjamin A., Frinchaboy Peter M., Spoo Taylor, Donor John.* The Binary INformation from Open Clusters Using SEDs (BINOCS) Project: Reliable Photometric Mass Determinations of Binary Star Systems in Clusters // *Astron. J.* – 2021. – Vol. 161, № 4. – P. 160.
- [2] *Bressan Alessandro, Marigo Paola, Girardi Léo. et al.* PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2012. – Vol. 427, № 1. – P. 127–145.
- [3] *Lodieu N., Pérez-Garrido A., Smart R. L., Silvotti R.* A 5D view of the α Per, Pleiades, and Praesepe clusters // *Astron. Astrophys.* – 2019. – Vol. 628. – P. A66.
- [4] *Danilov V. M., Seleznev A. F.* On the Motion of Stars in the Pleiades According to Gaia DR2 Data // *Astrophysical Bulletin.* – 2020. – Vol. 75, № 4. – P. 407–424.
- [5] *Dias W. S., Monteiro H., Moitinho A. et al.* Updated parameters of 1743 open clusters based on Gaia DR2 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2021. – Vol. 504, № 1. – P. 356–371.
- [6] *Mermilliod J. C., Rosvick J. M., Duquenoay A., Mayor M.* Investigation of the Pleiades cluster. II. Binary stars in the F5-KO spectral region. // *Astron. Astrophys.* – 1992. – Vol. 265. – P. 513–526.
- [7] *Bowier J., Rigaut F., Nadeau D.* Pleiades low-mass binaries: do companions affect the evolution of protoplanetary disks? // *Astron. Astrophys.* – 1997. – Vol. 323. – P. 139–150.
- [8] *Danilov V. M.* On the Motion of Multiple Stars in the Pleiades Based on Gaia DR2 // *Astrophysical Bulletin.* – 2021. – Vol. 76, № 1. – P. 55–70.
- [9] *Tokovinin Andrei.* From Binaries to Multiples. II. Hierarchical Multiplicity of F and G Dwarfs // *Astron. J.* – 2014. – Vol. 147, № 4. – P. 87.