

УДК 524.31

Л. Н. КНЯЗЕВА

ОБ ЭВОЛЮЦИОННОМ СТАТУСЕ НЕКОТОРЫХ ЗВЕЗД С «ПЛАНЕТАМИ»

Выбраны одиночные звезды с планетными кандидатами (ПК), лежащие в пределах главной последовательности. Сделано сравнение их физических параметров, изменяющихся с возрастом, с подобными параметрами для Солнца. Выделены три молодые звезды с пылевыми дисками и пять молодых и активных звезд с ПК, которые, возможно, ранее были членами скопления Гиад.

Настоящая статья является продолжением серии работ [1,2] о звездах с «планетами», обнаруженными методом лучевых скоростей.

Цель работы – выделить среди звезд с планетными кандидатами (ПК) одиночные, более молодые и более старые, чем наше Солнце, звезды, используя физические параметры, изменяющиеся с возрастом.

Наиболее часто для определения возраста одиночной звезды главной последовательности или субгиганта используются следующие методы:

1. Сравнение наблюдаемых физических параметров ($T_{\text{эф}}$, M_v , $[\text{Fe}/\text{H}]$) с теоретическими звездными эволюционными последовательностями. Но, как показано в работе [2], и $T_{\text{эф}}$, и $[\text{Fe}/\text{H}]$, вероятно, обременены систематическими ошибками, что может внести существенные неопределенности в определение возраста.

2. Использование связи между возрастом и индексом хромосферной активности. Когда звезды стареют, они теряют угловой момент и уменьшают магнитную активность на своих поверхностях и скорость вращения. Но для уверенной оценки возраста в этом случае необходим длительный мониторинг хромосферной активности звезд, так как известно, что многие звезды солнечного типа (F8-K0V) показывают циклы активности, подобные солнечному. Например, для Солнца индекс хромосферной активности ($\log R'_{\text{HK}}$) меняется от -4.75 в максимуме до -5.10 в минимуме активности, что соответствует возрастам 2.2 и 8 Гуг соответственно. К сожалению, мониторинг имеется только для двух звезд с ПК.

Изохронные и хромосферные возрасты иногда различаются почти вдвое (см. таблицу, колонки 8, 9).

3. Связь возраст – металличность. Современная теория химической эволюции Галактики предполагает, что бедные металлами звезды являются

более старыми, так как они рождены из еще не обогащенного металлами вещества.

4. Как дополнительный аргумент для ограничения звездного возраста используется обилие лития. Легкий элемент литий обеспечивает информацию относительно перераспределения и перемешивания вещества в пределах звезды. Стандартные эволюционные модели предсказывают, что обилие лития в звездах главной последовательности должно зависеть от массы, возраста и, возможно, вращения. Истощение лития происходит уже на стадии звездной эволюции до главной последовательности (PMS) и увеличивается с уменьшением звездной массы. Хотя здесь тоже следует соблюдать осторожность, так как уменьшение лития в фотосфере звезды с возрастом сопровождается в конечном итоге сильным всплеском, когда звезда поднимается на ветвь субгигантов.

Каждый из упомянутых методов имеет свои неопределенности, поэтому мы решили оценить возрасты звезд с ПК по отношению к возрасту Солнца сравнением их физических параметров, изменяющихся с возрастом, с солнечными значениями.

Первым шагом в работе является определение положений звезд с ПК относительно средней главной последовательности на наблюдаемой диаграмме цвет – абсолютная звездная величина. Чтобы построить такую главную последовательность для солнечных окрестностей из Hipparcos каталога были выбраны звезды спектральных классов A9-K2V, находящиеся в 20 пк от Солнца и имеющие звездные величины $V \leq 8^m$. Абсолютные звездные величины для них были получены на основании тригонометрических параллаксов из Hipparcos каталога. Фотометрические данные для этих звезд и звезд с ПК также взяты из этого каталога для однородно-

сти. Эта диаграмма представлена на рисунке. Средняя главная последовательность (ГП) обозначена сплошной линией, ее положение определяется полиномом 3-го порядка. Так как Солнце, обозначенное большим кружком с показателем цвета $(B-V)=0.64$, полученным из свертки его абсолютного распределения энергии с кривыми реакции фотометрической системы UBV , и $M_V=4.78$, лежит вблизи этой последовательности, мы полагаем, что это главная последовательность для звезд с солнечным обилием металлов. Штрих-пунктирной и точечной линиями отмечена ширина ГП, которая определяется рассеянием звезд относительно ГП и теоретическими оценками, что звезда с $[Fe/H]=+0.3$ будет лежать на 0.45^m выше ГП с солнечным обилием железа, а звезда с $[Fe/H]=-0.3$ – на 0.45^m ниже. Открытыми кружками обведены двойные звезды.

Исходя из положений звезд с ПК относительно ГП, мы разделили их на три группы: а) звезды, лежащие вблизи ГП; б) звезды пределах ГП; в) звезды, сильно смещенные вправо от ГП. Больше трети из звезд с ПК являются компаньонами двойных систем [3] или имеют ПК с массами, превышающими допустимую массу для планеты [4].

Здесь мы будем рассматривать только одиночные звезды, лежащие вблизи ГП, поскольку после завершения стадии ГП такие звезды увеличивают свои размеры и совершают переход с ГП в область гигантов или сверхгигантов. Если же звезда оказывается компонентом тесной двойной системы, то нормальный ход ее эволюции нарушается.

В таблице приведен список этих звезд вместе с номерами по HD, массой [5], пределами зна-

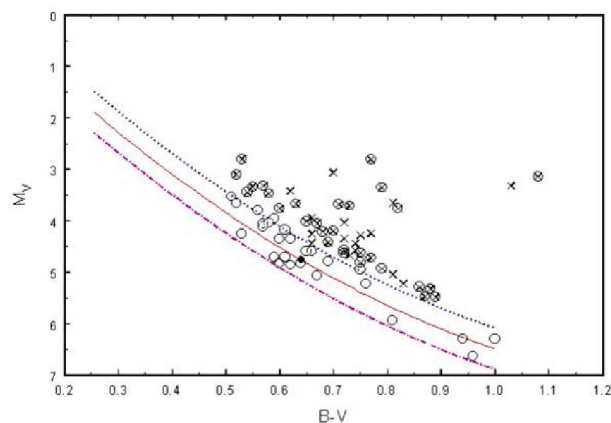


Диаграмма цвет – звездная величина для звезд с ПК.
Сплошной кружок – Солнце

чений обилия из разных источников [5–7] и обилием лития из [8], уровнем хромосферной активности и периодом вращения из [9–11], спектральным классом из SIMBAD и возрастом из [9,5].

Мы отобрали 8 звезд, хромосферная активность которых выше солнечной. Из них наиболее интересной является HD 22049. Это самая близкая звезда (3.2 пк). Высокая хромосферная активность, достаточно быстрое вращение (период 11–17 дней по сравнению с солнечным 27-дневным периодом), более существенное, чем у большинства звезд главной последовательности, изменение формы спектральных линий, магнитного поля и фотосферной температуры со временем свидетельствуют о ее молодости. В европейской SIMBAD базе данных эта звезда идентифицируется как переменная типа BY Dra. Хромосферный возраст ее вдвое меньше возраста, определенного по изохронам. Вокруг HD 22049 обнаружены подобные диску пылевые структуры, которые напоминают более молодую версию пояса Койпера из ледяных объектов (доминируют кометы и большие планетарные тела), окружающих Солнечную систему, что является еще одним аргументом в пользу хромосферной оценки возраста (~700 Myr). Возможно, так выглядела наша Солнечная система 4 млрд лет назад.

Большой разброс значений обилия металлов, полученных разными авторами, делает менее уверенными оценки возраста по изохронам и из соотношения возраст – металличность. Дефицит лития у HD 22049, вероятно, связан с тем, что ее масса меньше солнечной. Такие звезды имеют более глубокие конвективные зоны и уничтожают литий очень эффективно, а у звезд более массивных, чем Солнце, конвективные слои слишком далеки от того, чтобы достигнуть слоя, сжигающего литий. Эти звезды вообще сохраняют существенную долю своего изначального лития [5].

Звезды HD 81040 и HD128311, также имеющие пылевой диск, очень похожи на HD 22049 по своим физическим параметрам. Их возраст, очевидно, близок к возрасту HD 22049, что подтверждается и оценкой их возраста по изохронам.

Пять звезд (HD 1237, HD 17051, HD 20367, HD 121504, HD 179949) имеют обилие железа и лития, хромосферную активность и вращение,

характерное для звезд скопления Гиад. Возможно, они в свое время были членами этого скопления, и можно полагать, что их возраст близок к возрасту Гиад (~700 млн лет). Этому не противоречат и оценки возраста из изохрон. Эти звезды выделены в таблице жирным шрифтом. К более молодым, чем Солнце, звездам можно отнести и звезду HD 10497. Она имеет значения массы и обилия металлов, близкие к солнечным, но более активная и вращается быстрее, чем Солнце.

Очень интересной представляется звезда HD 69830. Ее масса, активность, обилие лития и металлов близки к солнечным значениям. У нее обнаружен холодный пылевой диск. И хотя ее изохронный возраст оценивается в 7 Gyr, мы полагаем, что эта звезда не старше Солнца. HD 50554 – звезда с высоким обилием лития, низким обилием металлов и умеренной активностью – также имеет пылевой диск, подобный HD 69830. Хромосферная активность и изохроны дают примерно одинаковый, близкий к солнечному возраст (4.6 Gyr), что в общем не противоречит остальным физическим параметрам.

Остальные звезды из таблицы по своим физическим характеристикам не старше Солнца, хотя более высокое обилие лития по сравнению с солнечным значением заслуживает особого рассмотрения.

В результате можно отметить следующее:

1. Среди звезд с ПК, лежащих вблизи ГП, выделены три очень молодые звезды (HD22049, HD81040 и HD128311) с пылевыми дисками, которые могут быть аналогами молодой Солнечной системы.

2. Пять звезд (HD1237, HD17051, HD20367, HD121504, HD179949) имеют возраст, близкий к возрасту звезд в скоплении Гиад и, возможно, ранее были его членами.

3. Остальные звезды с ПК из таблицы согласно их физическим характеристикам не старше нашего Солнца.

Эта работа является предварительным этапом для программы исследования звезд разных возрастов, с массой подобной солнечной. Мы намерены в дальнейшем рассмотреть и двойные звезды, лежащие в пределах ГП, так как они интересны в смысле гипотезы о том, что Солнце рождено в небольшом звездном скоплении и могло иметь компаньона в прошлом.

Современная теория формирования планет отвергает возможность их образования в двойной системе, но обнаружение огромных газовых гигантов в большом числе двойных систем, возможно, служит свидетельством того, что такое окружение является подходящим для формирования подобных объектов.

Работа выполнена в рамках проекта ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Князева Л.Н., Харитонов А.В.* О звездах с планетными кандидатами // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2004. № 4. С.36-39.
2. *Knязева L.N.* The question of the abundance of metals in stars with planets // A&ATr, 2005. V.24. P.335-341.
3. *Raghaven D., et al.* Two Suns in the sky: Stellar multiplicity in exoplanet systems // astro-ph/0603836. 2006.
4. *Han I., Black D.C., Gatewood G.* Preliminary Astrometric masses for proposed extrasolar planetary companions // Astron.J. 2000. V.548. P. L57-L60.
5. *Fischer D.A., Valenti J.* The Planet-Metallicity correlation // Astrophys. J. 2005. V. 622. P. 1102-1117.
6. *Santos N.S., Israelian G., Mayor M.* Spectroscopic [Fe/H] for 98 extra-solar planet-host stars // Astron. and Astrophys. 2004. V.415. P.1153-1166.
7. *Hiltner U., Luck R.E.* Abundance analysis of planetary host stars // Astron. J. 2003. V. 126. P. 2015-2036.
8. *Israelian G., Santos N.C., Mayor M., Rebolo R.* Lithium in stars with exoplanets // Astron.&Astrophys. 2004. V. 414. P. 601.
9. *Wright J. T.; Marcy G. W.; Butler R. P.; Vogt S. S.* Chromospheric Ca II Emission in Nearby F, G, K and M Stars // ApJS. 2004. V.152. C.251.
10. *Henry T. J., Soderblom D. R., Donahue R. A. Baliumas, S. L.* A Survey of Ca II H and K chromospheric emission in southern Solar-type stars // AJ. 1995. V.111. P.439.
11. *Timney C.G. et al.* Echelle spectroscopy of Ca II HK activity in southern hemisphere planet search target // MNRAS. 2002. V. 332. P.759-763.
12. *Beichman, C. A. et al.* Planets and Infrared Excesses: Preliminary Results from a Spitzer MIPS Survey of Solar-Type Stars // Astrophys. J. 2005. V. 622. P.1160.

Резюме

Бас тізбектің шегінде болған планеталық кандидаттар жұлдыздары таңдалып алынған. Оларды жасымен өзгерілген физикалық параметрлері Күнге сай келген параметрлермен салыстыру жасалған. Ертеде Гиад шоғырының мүшелері мүмкін болған 3 жас жұлдыз тозандық дөңгелектерімен және 5 жас және белсенді жұлдыздарының планеталық кандидаттарымен атап көрсетіледі.

Summary

The single stars with planetary candidates (PC) are selected within the main sequence. Their physical parameters changing with the age are compared with the same solar parameters. Three young stars with dust disks and five young and active stars with PC which probably were members of Hayades cluster are selected.

*Астрофизический институт
им. В.Г. Фесенкова МОН РК,
г. Алматы*

Поступила 31 мая 2006 г.