ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕР И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ 50 ЗВЕЗД С ПЛАНЕТАМИ, ОТКРЫТЫХ В 1995–2000 ГОДАХ

А. И. Галеев, И. Ф. Бикмаев

Казанский университет, кафедра астрономии
ул. Кремлевская, 18, 420008 Казань, Россия
e-mail: almaz@ksu.ru

После открытия осенью 1995 г. планетной системы вокруг звезды 51 Peg началась эра внесолнечных планет. В настоящее время астрономам известно более 80 звезд с планетами. Поэтому можно начать статистические исследования данной группы звезд. Мы исследовали распределения различных параметров 50 звезд, обладающих планетами, на основе опубликованных в литературе данных: фотометрии (V, $B-V$, M_v), физических параметров (T_{eff}, $\lg g$, [Fe/H], V_{tur}, M, R, V_{rot}, возраст), кинематических характеристик, а также содержаний химических элементов.

ATMOSPHERIC PARAMETERS AND CHEMICAL COMPOSITION OF 50 STARS WITH PLANETS DISCOVERED IN 1995–2000, by Galeev A., Bikmaev I. – After a planetary system was discovered in Autumn 1995 around 51 Peg by Mayor and Queloz the era of extrasolar planets has begun. At present astronomers know more than 80 stars with planets. It is possible to start with statistical studies of this group of stars. We investigated the distributions of various parameters and chemical compositions of 50 planet-harboring stars. A great number of sources was inspected to collect and analyze the photometric properties (V, $B-V$, M_v), physical parameters (T_{eff}, $\lg g$, [Fe/H], V_{tur}, M, R, V_{rot}, age), kinematic characteristics, and element abundances.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ

В ноябре 1995 г. в очередном номере журнала “Nature” вышла статья об открытии планетной системы у звезды 51 Peg [1], которая положила начало эре изучения внесолнечных планет. Но лишь первое время это было исключительным событием, постепенно число внесолнечных планет начало исчисляться десятками, ведь с каждым годом их открывают все больше и больше. В 1996 г. было открыто 2 планеты, в 1997 – 5, в 1998 – 7, в 1999 г. планеты были обнаружены у 9 звезд, а в 2000 – уже у 25! То есть, в течение последних шести лет XX века были открыты планеты у 49 звезд. И число их продолжает расти, известны уже целые планетные системы, состоящие из 2–3 планет.

Большое число планет у других звезд позволяет начать статистические исследования характеристик этих объектов (и планет, и звезд). В данной работе мы решили ограничиться только выборкой из 50 звезд с планетами (ЗСП), известных к началу нового столетия (в это число мы включили и Солнце), и рассмотреть распределения различных параметров этих звезд.

Мы привлекли большое количество литературных источников (более 50), чтобы собрать и провести анализ фотометрических свойств (видимая и абсолютная звездная величина, показатели цвета), физических параметров (эффективная температура, логарифм ускорения силы тяжести, металличность, скорости вращения и турбулентности, масса, радиус, возраст и т. д.), содержаний химических элементов (в частности лития) и кинематических характеристик (компоненты пекулярной скорости V_{space} – U, V, W – движения в Галактике) данной группы звезд. Некоторые параметры (светимости, радиусы) были рассчитаны нами на основе других данных.

Для сравнения мы рассмотрели выборку из 150 звезд солнечного типа (“звезд поля”), исследованных и любезно предоставленных нам Клаусом Фурманом. Эта выборка более однородна (параметры всех звезд получены одним методом), но она содержит и несколько ЗСП. Поэтому ее удобно использовать для сравнения параметров звезд в этих двух выбороках.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Найденные для исследованных звезд с планетами параметры изменяются в широких пределах. Это возникает благодаря неоднородности этой выборки, ведь они отбирались по критерию

наличия у звезды планетоподобного спутника. К примеру, данная группа объединяет звезды от красного карлика Gl 876 (M4, $T_{eff} = 3200$ K) до F-субгиганта HD 120136 ($T_{eff} = 6390$ K), хотя большинство этих звезд все же попадают в область звезд солнечного типа с эффективными температурами 5000–6000 K и $\lg g$ от 4.00 до 4.50 dex.

Около 50 % ЗСП имеют светимости, заметно отличающиеся от солнечной. Массы данных звезд заключены в пределах от 0.78 $M_\odot$ (у HD 192263) до 1.46 $M_\odot$ (у HD 89744). Распределение масс этих звезд повторяет аналогичное распределение звезд поля Фурмана и показывает четкий пик на 1 $M_\odot$ (рис. 1). Гистограммы, построенные для других параметров звезд, показывают распределение с пиком, соответствующим солнечному значению.

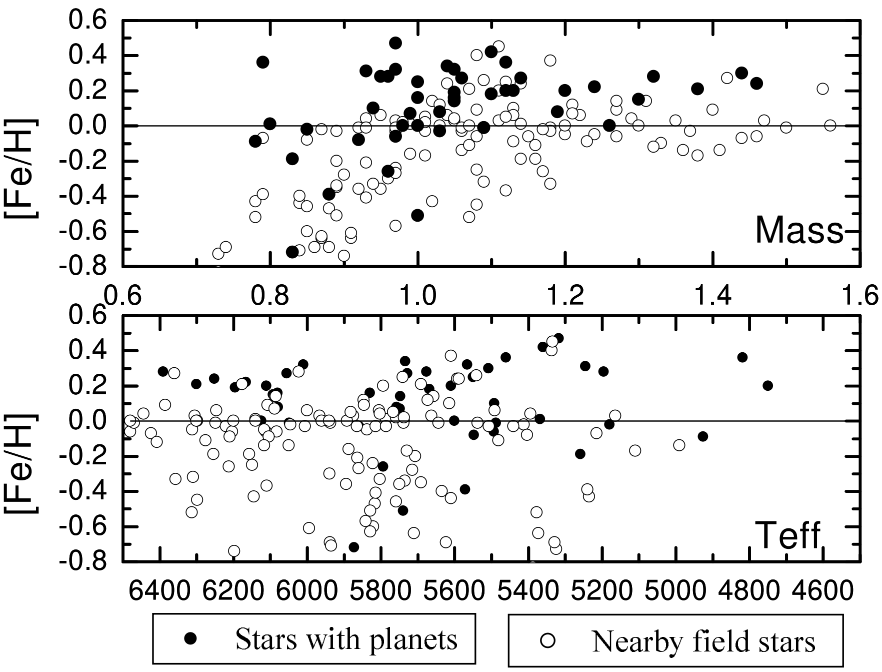

Рис. 1. Зависимости металличности рассмотренных звезд с планетами и звезд поля от массы (вверху) и температуры (внизу)

Только распределение металличности обнаруживает значительные отклонения от распределения, наблюдаемого у одиночных звезд солнечного типа (рис. 2). Металличности звезд с планетами изменяются от –0.72 dex (HD 114762) до +0.47 (HD 145675). Но кроме HD 114762 [Fe/H] < -0.10 имеют лишь 4 звезды. В итоге оказывается, что большинство ЗСП расположено в области металличностей –0.1 ... +0.5 dex с максимумом на 0.2 dex. Проблема такого распределения рассматривается в работах [2, 3].

2. Химический состав данных звезд, обладающих планетами, определялся в работах Гонзалеза и др. [4–6] и Сантоса и др. [7]. К этим данным мы добавили результаты для HD 6434 [8], HD 19994 [9], HD 95128 [10], и HD 9826, HD 186427, HD 217014, исследованных нами. Количество рассмотренных элементов растет от 4 (Si, Ca, Ti, Fe) у HD 177830 до 22 (HD 19994) и 36 (HD 186427), но большинство звезд (которые рассмотрены Гонзалезом) представляют содержания только 13–15 элементов. Всего мы проанализировали химический состав атмосфер 40 звезд выборки.

По химическому составу данные звезды также можно разбить на группы (рис. 3). Пять звезд, HD 6434, HD 13445, HD 37124, HD 114762 и HD 143761, относятся к объектам с пониженной металличностью [Fe/H] < -0.10. Шесть звезд (HD 95128, HD 117176, HD 130322, HD 192263, HD 209458 и HD 222582) показывают солнечный химсостав. У оставшихся звезд – сильные избытки металлов, особенно у HD 75732 и HD 145675 значения $\Delta\epsilon(star - sun) > 0.3$ для всех элементов (кроме лития). Также как у аналогов Солнца [11], распределения содержаний имеют различный вид у разных звезд. Хорошо заметна повышенная металличность ЗСП, если сравнить усредненные распределения содержаний химических элементов этих звезд и звезд-аналогов Солнца (рис. 4). Сравнение содержаний лития у 32 звезд не показывает их корреляции с содержаниями других элементов.

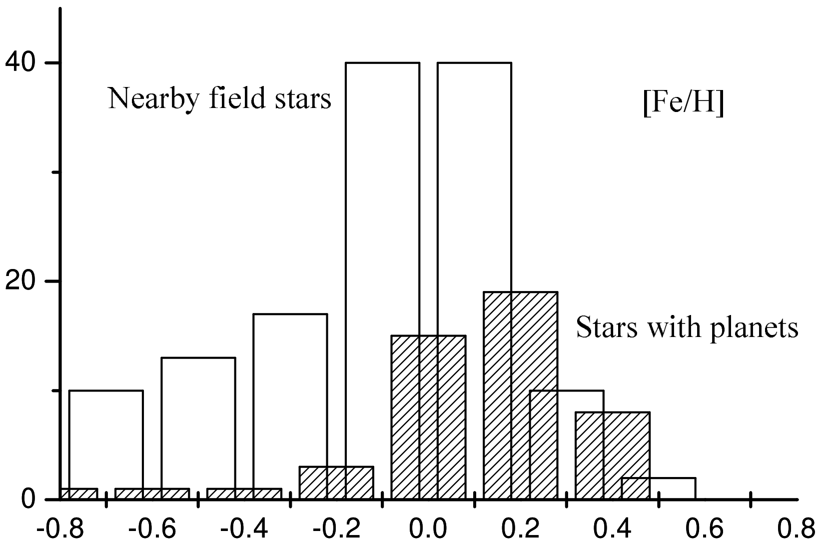

Рис. 2. Число звезд разной металличности среди рассмотренных звезд с планетами и звезд поля

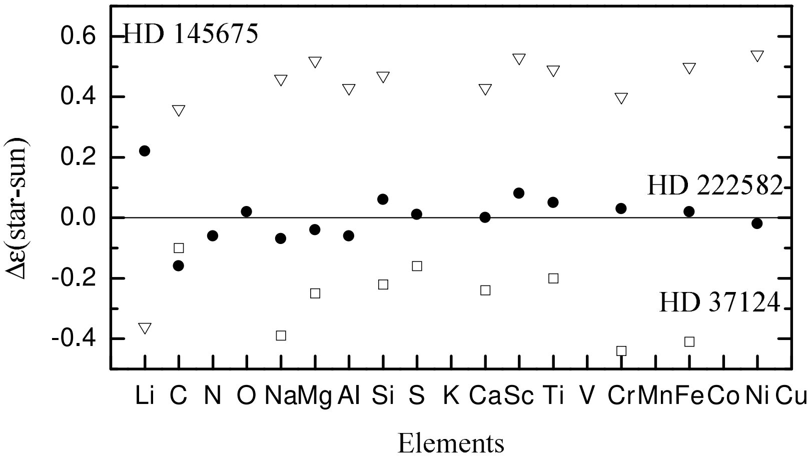

Рис. 3. Содержания химических элементов в атмосферах трех звезд с планетами, которые демонстрируют: избыток металлов (HD 145675), солнечный химсостав HD 222582 и пониженную металличность (HD 37124)

3. На основе собранных параметров звезд с планетами, мы попытались отобрать объекты, которые можно отнести к аналогам Солнца. В итоге мы выбрали 5 звезд (HD 6434, HD 12661, HD 186427, HD 217014, HD 222582), у которых почти все характеристики близки к солнечным. Но первые четыре звезды имеют химический состав, отличающийся от солнечного. Только HD 222582 показывает удивительное совпадение с солнечными данными “по всем пунктам”. Мы предполагаем, что эта звезда может считаться наилучшим солнечным аналогом в этой группе звезд и кандидатом в двойники Солнца.

4. По кинематическим характеристикам ЗСП ничем особенным не выделяются. Значения компонентов скорости движения этих звезд в Галактике лежат в “общем облаке”. Распределение кумулятивной скорости ($V_{space} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$) рассмотренных звезд идентично такому же распределению у звезд поля (с учетом того, что количество звезд в этих выборках отличается в 3 раза).

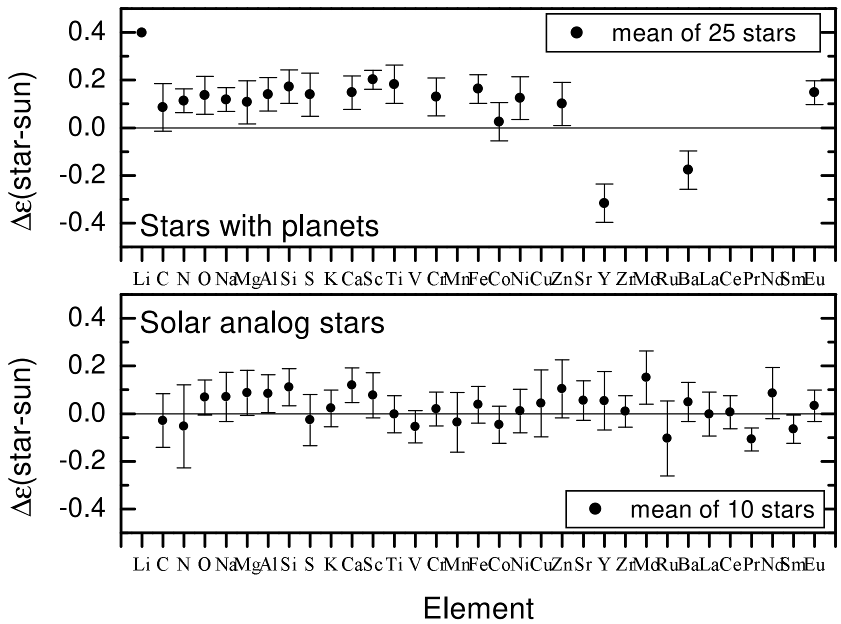

Рис. 4. Сравнение усредненного химического состава 25 звезд с планетами и 10 звезд-аналогов Солнца (на графиках показаны бары ошибок содержаний для каждого элемента)

Авторы выражают благодарность К. Фурману за предоставленные данные, С. Горде за эмпирические зависимости масса-радиус [12] и А. Хайруллиной за помощь в работе с данными.

[1] *Mayor M., Queloz D. et al.* A Jupiter-Mass Companion to a Solar-Type Star // Nature.–1995.–**378**.–P. 355.

[2] *Santos N. C., Israelian G., Mayor M.* The metal-rich nature of stars with planets // Astron. and Astrophys.–2001.–**373**.–P. 1019–1031.

[3] *Reid N.* On the Nature of Stars with Planets // Publs Astron. Soc. Pacif.–2002.–**114**.–P. 306–329.

[4] *Gonzalez G.* Spectroscopic analyses of the parent stars of extrasolar planetary system candidates // Astron. and Astrophys.–1998.–**334**.–P. 221–238.

[5] *Gonzalez G., Laws C.* Parent Stars of Extrasolar Planets. V. HD 75289 // Astron. J.–2000.–**119**.–P. 390–396.

[6] *Gonzalez G., Laws C., Tyagi S., Reddy B. E.* Parent Stars of Extrasolar Planets. VI. Abundance Analyses of 20 New Systems // Astron. J.–2001.–**121**.–P. 432–452.

[7] *Santos N. C., Israelian G., Mayor M.* Chemical analysis of 8 recently discovered extra-solar planet host stars // Astron. and Astrophys.–2000.–**363**.–P. 228–238.

[8] *Carretta E., Gratton R. G., Sneden C.* Abundances of light elements in metal-poor stars. III. Data analysis and results // Astron. and Astrophys.–2000.–**356**.–P. 238–252.

[9] *Smith V. V., Cunha K., Lazzaro D.* The Abundance Distribution in the Extrasolar-Planet Host Star HD 19994 // Astron. J.–2001.–**121**.–P. 3207–3218.

[10] *Chen Y. Q., Nissen P. E., Zhao G., et al.* Chemical composition of 90 F and G disk dwarfs // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.–2000.–**141**.–P. 491–506.

[11] *Галеев А. И., Бикмаев И. Ф., Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А.* Исследование звезд – фотометрических аналогов Солнца по спектрам, полученным на 2-м телескопе обсерватории Терскол // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.–2003.–№ 4.–С. 97–100.

[12] *Gorda S. Yu., Svechnikov M. A.* Empirical L-M, R-M, and M-Teff relations for main-sequence stars: Components of close binary systems and low-mass stars // Astron. Rep.–1999.–**43**.–P. 521–525.