

УДК.524.45-36

## Y и Ba в звездах рассеянных скоплений

*Т.В. Мишенкина<sup>1</sup>, С.А. Коротин<sup>1</sup>, И.А. Егорова<sup>2</sup>, В.В. Ковтюх<sup>1</sup>, Д. Карраро<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Астрономическая обсерватория Одесского национального университета имени И.И. Мечникова, Парк Т. Шевченко, Одесса, Украина  
*tmishenina@ukr.net, serkor@skyline.od.ua, val@deneb1.odessa.ua*

<sup>2</sup> Европейская Южная Обсерватория, 3107 Алонсо де Кордова, Витакура, Сантьяго де Чили 19, Чили  
*iyegorov@eso.org, gcarraro@eso.org*

Поступила в редакцию 24 ноября 2012 г.

**Аннотация.** Используя VLT-спектры высокого разрешения звезд пяти удаленных рассеянных скоплений Ruprecht 4, Ruprecht 7, Berkeley 25, Berkeley 73 и Berkeley 75 (Карраро и др., 2007) определены содержания иттрия и бария методом синтетического спектра. Расчет содержания бария выполнен в приближении отказа от ЛТР. Проведен анализ поведения содержания иттрия и бария с возрастом рассеянных скоплений и звезд тонкого диска.

*Y AND BA IN OPEN CLUSTERS*, by *T.V. Mishenina, S.A. Korotin, I.A. Yegorova, V.V. Kovtyukh, D. Carraro*. Basing on the VLT high resolution spectra of stars of five open clusters Ruprecht 4, Ruprecht 7, Berkeley 25, Berkeley 73 and Berkeley 75 (Carraro et al., 2007) we determined the abundance of yttrium and barium by the method of synthetic spectrum. The calculation of the barium abundance is carried out in the approximation of non-LTE. We analyzed the behavior of yttrium and barium with the age of open clusters and stars of the Galactic thin disk.

**Ключевые слова:** звезды, рассеянные скопления, химический состав

---

## 1 Введение

Интерес к исследованию содержания элементов, образующихся в процессах нейтронного захвата, в рассеянных скоплениях (РС) и диске Галактики вызван рядом аспектов, связанных, в частности, 1) с источниками обогащения элементами, образованными в процессах нейтронного захвата, 2) с однородностью обогащения диска и наличия галактических градиентов и 3) с происхождением звезд диска. Нейтронный захват подразумевает два основных процесса, зависящих от плотности потока нейтронов – медленный (slow) s-процесс и быстрый (rapid) r-процесс. Главными поставщиками элементов, образующихся в процессах нейтронного захвата, к которым относятся иттрий (первый пик) и барий (второй пик), для примерно солнечных металличностей являются мало- и умеренно массивные звезды асимптотической ветви гигантов (АВГ). На протяжении некоторого времени они обогащают межзвездную среду (МЗС) рассматриваемыми элементами, которые затем попадают в звезды в процессе их образования, и в целом для восстановления истории обогащения Галактики необходимо использование моделей химической эволюции (Траваглио и др., 1999).

Недавно Д’Орази и др. (2009) было проведено определение содержания бария в звездах ряда РС

и найдено, что содержание Ba относительно железа достигает значений 0.6 dex и увеличивается с уменьшением возраста PC. Этот результат противоречит существующим в настоящее время моделям химической эволюции, адекватно описывающим обогащение на момент формирования Солнечной системы (Траваглио и др., 1999). Одним из возможных объяснений является дополнительное обогащение барием, производимым в звездах с массой  $M < 1.5 M_{\odot}$  (см., например, Серминато и др., 2009). Позже Дезидера и др. (2011) также обнаружили заметные избытки Ba у отдельных молодых звезд. Майорка и др. (2011) исследовали другие элементы нейтронного захвата – Y, Zr (первого пика) и La, Ce (второго пика) в молодых PC и подтвердили тренд, полученный для Ba, однако полученные избытки рассмотренных элементов достигают лишь значений 0.2 dex. В последней работе Д’Орази и др. (2012) для звезд трех молодых ассоциаций получено более низкое содержание Ba (порядка 0.3 dex) и не обнаружено корреляции между содержанием Ba и индексами хромосферной активности для исследуемых звезд. Природа избыточного (до 0.6 dex) содержания Ba остается неизвестной (см., например, Майорка и др., 2011; Дезидера и др., 2011; Д’Орази и др., 2012).

Целью данного исследования является определение содержания Y и Ba в атмосферах звезд ряда PC и анализ поведения содержания Y и Ba в зависимости от возраста PC и звезд тонкого диска.

## 2 Наблюдения и параметры звезд в рассеянных скоплениях

В работе проведено исследование звезд скоплений Berkeley 75, Berkeley 73, Berkeley 25, Ruprecht 7, Ruprecht 4. Спектры были получены в декабре 2005 года на FLAMES (VLT+UVES) спектрографе с разрешением  $R = 40\,000$  для диапазона длин волн 4750–6800 Å (Карраро и др., 2007). Для тестирования спектров и параметров атмосфер, полученных в работе Карраро и др. (2007), для двух звезд мы сравнили эквивалентные ширины линий EW, определенные нами, и значения температуры, найденные по калибровкам отношения интенсивностей линий с различающимися потенциалами нижнего уровня (Ковтюх и др., 2004), с данными Карраро и др. (2007). Нами получено  $T_{\text{eff}} = 5112$  K для звезды Rup 4(3) и  $T_{\text{eff}} = 5195$  K для звезды Rup 7(2), в работе Карраро и др. (2007) было получено  $T_{\text{eff}} = 5105$  K и  $T_{\text{eff}} = 5160$  K, соответственно. Получив хорошее согласие как для EW, так и для значений температуры, мы провели расчеты содержаний Y и Ba в атмосферах исследуемых звезд с использованием параметров ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $V_t$ , [Fe/H]), приведенных в работе Карраро и др. (2007).

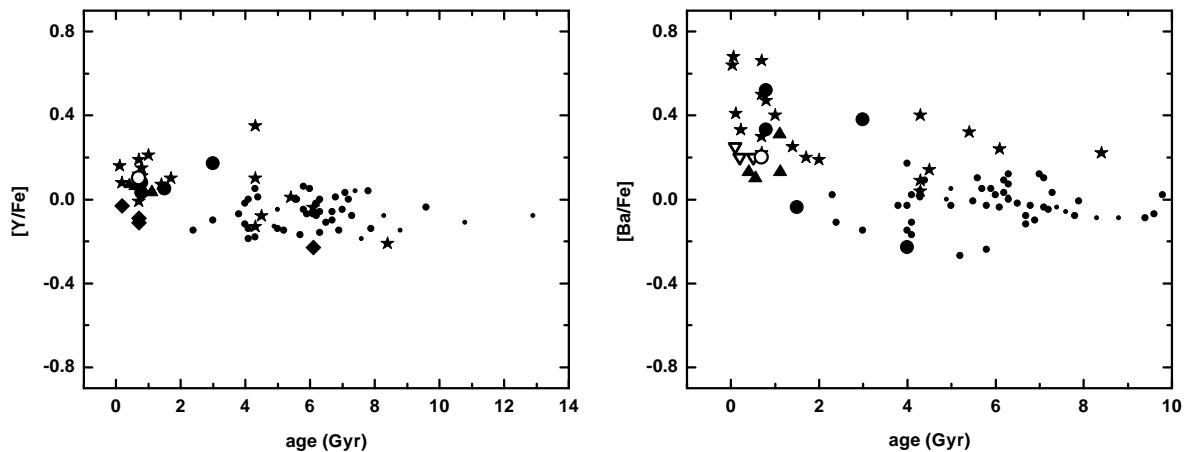
## 3 Определение содержания иттрия и бария

Для расчета содержания были использованы модели Каstellи и Куруца (2003). Определение содержания Y выполнено с помощью новой версии пакета программ STARSF (Цымбал, 1996) и атомных данных VALD (Купка и др., 1999) по 3 линиям Y II 4854.873, 4883.690, 5087.426 Å. Определение содержания Ba выполнено в приближении отказа от ЛТР по модифицированной С.А. Коротиным (Коротин и др., 2011) версии MULTI (Карлссон, 1986). Для определения содержания бария были использованы профили трех линий Ba II 5853, 6141 и 6496 Å. Содержание Y и Ba на Солнце принято равным  $(Y/H)_{\odot} = 2.24$  и  $(Ba/H)_{\odot} = 2.17$  соответственно, при содержании водорода  $\log A(H) = 12$ . Влияние не-ЛТР эффектов на линии Ba незначительно для исследуемых звезд; не-ЛТР поправки к содержанию Ba не превышают 0.1 dex. Ошибки определения содержания Y и Ba в среднем равны 0.2 dex.

## 4 Зависимость содержаний Y и Ba от возраста. Обсуждение полученных результатов

Мы сравнили полученные нами значения (черные круги) содержания иттрия [Y/Fe] и бария [Ba/Fe] с результатами определений, выполненных другими авторами (см. рис. 1) для PC. Данные для звезд тонкого диска были взяты из работы Мишениной и др. (2012), а определения возраста для

этих звезд – из работы Субиран и Жиранд (2005). Как видно из рис. 1, наблюдается небольшой тренд содержания иттрия  $[Y/Fe]$  с увеличением возраста (от  $-0.2$  до  $0.2$  dex). При этом данные для одних и тех же РС молодого возраста, полученные Каррера и Панчино (2011), отличаются от данных Майорка и др. (2011) в среднем на  $0.2$  dex (это соответствует практически пределу заявленной точности). Полученные нами значения содержания  $Y$  для других молодых РС также слегка выше значений, полученных Каррера и Панчино (2011), однако хорошо согласуются с результатами других авторов. Ход содержания  $Y$  от возраста для РС и звезд тонкого диска подобен, это может говорить в пользу общности происхождения тонкого диска и РС (Редди и др., 2012). А небольшой тренд – о росте вклада в обогащение МЗС от маломассивных звезд АВГ с массами  $M < 1.5 M_{\odot}$ . Что касается Ва, то здесь мы наблюдаем заметный тренд и большой разброс значений. Полученные нами средние значения для двух молодых скоплений Rup 4 и Rup 7 (возраст около  $0.8$  Gyr) равны  $\langle [Ba/Fe] \rangle = 0.33$  и  $0.56$  dex соответственно. Достаточно высокое значение  $[Ba/Fe] = 0.38$  dex получено и для скопления Ber 75 (возраст около  $3$  Gyr) по спектру одной звезды этого РС. Итак, звезды молодых РС показывают различные содержания Ва – от умеренных значений  $0.2$ – $0.3$  dex до  $0.6$  dex. И если при рассмотрении поведения Ва с умеренным избытком наблюдается согласие с поведением  $Y$ , то для более высоких значений  $[Ba/Fe]$  их поведение заметно различается (как и крутой подъем в области малых возрастов). Для сравнения мы привели также средние значения содержания  $Y$  и Ва у классических цефеид (молодых звезд тонкого диска), имеющих возраст порядка  $0.1$ – $0.2$  Gyr (Лак и др., 2011 ( $Y$ ), Андриевский и др., 2012 (Ва)). Мы видим хорошее согласие для  $Y$ , но средние значения для Ва у цефеид заметно ниже значения  $0.6$  dex (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость содержания иттрия и бария от возраста, обозначения: Майорка и др. (2011)( $Y$ ), Д'Орази и др. (2009)(Ва) – звездочки, Каррера и Панчино (2011)( $Y$ ) – квадраты, Д'Орази и др. (2012)( $Y$ , Ва) – треугольники, Редди и др. (2012)( $Y$ , Ва) – полые треугольники, Мишенина и др. (2012) – тонкий диск (черные точки), цефеиды: средние значения  $\langle [Y/Fe] \rangle$  (Лак и др., 2011) и  $\langle [Ba/Fe] \rangle$  (Андриевский и др., 2012) – полый кружок, эта работа – черные круги

Остается открытым вопрос о причинах, вызывающих полученные высокие избытки содержания Ва. Это не влияние отклонений от ЛТР, поскольку наши определения выполнены с учетом этих эффектов и, вероятно, не проявление хромосферной активности, поскольку отсутствует корреляция содержания Ва с хромосферной активностью, как показано Д'Орази и др. (2012). Возможно, это скопления, захваченные Галактикой или принадлежащие другим галактическим субструктурам? В

работе Карраро и др. (2007) была проанализирована возможность принадлежности рассматриваемых удаленных РС кольцу Единорога. Содержание  $\alpha$ -элементов и элементов железного пика, а также положение и кинематика РС не показывает соответствующих аномалий в поддержку этого предположения, и авторы склонны считать, что рассматриваемые РС принадлежат диску Галактики. Большой разброс содержания Ва, как отмечают Каррера и Панчино (2011), полученный в работе Д'Орази и др. (2009), связан с различием возраста – для молодых РС содержание Ва выше. Однако мы наблюдаем большой разброс содержания бария как на временах формирования Солнечной системы, так и для РС молодого возраста. К сожалению, из-за небольшого числа измерений содержания Ва сейчас сложно ответить на вопрос о причинах избыточного содержания Ва в ряде молодых РС.

## Выводы

1. Определены содержания У и Ва для 21 звезды, включая 13 звезд пяти рассеянных скоплений.
2. Ход содержания У от возраста для скоплений и тонкого диска подобен, что может говорить в пользу происхождения звезд тонкого диска из распавшихся рассеянных скоплений. А небольшой рост содержания У в области малых возрастов – о росте вклада в обогащение МЗС от маломассивных звезд АВГ с массами  $M < 1.5 M_{\odot}$ .
3. Ряд молодых скоплений демонстрирует заметные избытки Ва, в том числе скопление Rup 7, исследованное в данной работе. На данный момент нет интерпретации этого избытка.

Работа выполнена при поддержке Проекта SCOPES No.IZ73Z0-128180/1.

## Литература

- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Lépine J.R.D., Korotin S.A., Luck R.E., Kovtyukh V.V., Maciel W.J.) // *Astron. Astrophys.* 2012. (in press, arXiv:1210.6211).
- Дезидера и др. (Desidera S., Covino E., Messina S., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2011. V. 529. P. 45.
- Д'Орази и др. (D'Orazi V., Magrini L., Randich S., et al.) // *Astrophys. J.* 2009. V. 693. P. 31.
- Д'Орази и др. (D'Orazi V., Biazzo K., Desidera S., Covino E., Andrievsky S.M., Gratton R.G.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2012. V. 423. P. 2789.
- Кастелли, Куруц (Castelli F., Kurucz R.L.) // *Modelling of Stellar Atmospheres. Proc. Symp. 210 IAU. Uppsala. Sweden. 17–21 June. 2002.* / Eds N. Piskunov, W.W. Weiss, D.F. Gray. ASP. 2003. P. A20.
- Карлссон (Carlsson M.) // *Uppsala Obs. Rep.* 1986. V. 33.
- Карраро и др. (Carraro G., Geisler D., Villanova S., Frinchaboy P.M., Majewski S.R.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 476. P. 217.
- Каррера, Панчино (Carrera R., Pancino F.) // *Astron. Astrophys.* 2011. V. 535. P. 30.
- Ковтюх и др. (Kovtyukh V.V., Soubiran C., Belik S.I., Gorlova N.I.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. P. 559.
- Коротин и др. (Korotin S.A., Mishenina T., Gorbaneva T., Soubiran C.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2011. V. 415. P. 2093.
- Купка и др. (Kupka F., Piskunov N.E., Ryabchikova T.A., et al.) // *Astron. Astrophys.* 1999. V. 138. P. 119.
- Лак и др. (Luck R.E., Andrievsky S.M., Kovtyukh V.V., Gieren W., Graczyk D.) // *Astron. J.* 2011. V. 142. P. 51.
- Майорка и др. (Maiorca E., Randich S., Busso M., Magrini L., Palmerini S.E.) // *Astrophys. J.* 2011. V. 736. P. 120.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Soubiran C., Korotin S.A., Gorbaneva T.I., Basak N.Yu.) // *Assembling the Puzzle of the Milky Way. Le Grand-Bornand. France.* / Eds Reyle C., Robin A., Schultheis M. EPJ Web of Conf. 2012. V. 19. id.05006.
- Редди и др. (Reddy A.B.S., Giridhar S., Lambert D.L.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2012. V. 419. P. 1350.
- Серминато и др. (Serminato A., Gallino R., Travaglio C., Bisterzo S., Straniero O.) // *Publ. Astron. Soc. Australia.* 2009. V. 26. № 3. P. 153.

- Субиран, Жирард (Soubiran C., Girard P.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 438. P. 139.
- Траваглио и др. (Travaglio C., Galli D., Gallino R.) // *Astrophys. J.* 1999. V. 521. P. 691.
- Цымбал (Tsymbal V.V.) // *Model Atmospheres and Spectrum Synthesis. ASP Conference Series.* / Eds Adelman S.J., Kupka F., Weiss W.W. 1996. V. 108. P. 198.