

О ВАРИАЦИЯХ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В ОКОЛОСОЛНЕЧНЫХ
ОКРЕСТНОСТЯХ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ДИСКА

В. Г. Ключкова

По данным каталога эквивалентных ширин линий в спектрах А-F-звезд методом моделей атмосфер выполнена оценка дисперсии содержания химических элементов. Показано, что для большинства элементов, синтезируемых в α - и s-процессах, вариации содержания в исследованной области галактического диска не превосходят $\sigma^2 \lg \epsilon(X) = 0.1$

By the model atmosphere method the dispersion of the chemical element abundances is estimated based on the catalogue of equivalent widths in the spectra of A-F-stars. It is shown that the abundance variations do not exceed the value $\sigma^2 \lg \epsilon(X) = 0.1$ for most elements synthesized by the α - and s-processes.

Проблема химической однородности диска Галактики тесно связана с проблемой точности определения химического состава звездных атмосфер. В работе Ключковой и др. (1989) показано, что для совокупности рассеянных скоплений дисперсия содержания элементов железного пика, элементов α - и s-процессов систематически снижается при переходе от групп горячих звезд к холодным. Казалось бы, наиболее удобными объектами для решения задачи о дисперсии химического состава являются K-гиганты. Это справедливо, если ограничиться изучением дисперсии содержания тех элементов, содержание которых заведомо не изменяется в процессе звездной эволюции (например, элементов группы железа). Если же мы интересуемся содержанием элементов, которые в процессе эволюции могут быть синтезированы и вынесены в атмосферу, то K-гиганты, представляющие собой смесь разных эволюционных стадий, для решения указанной задачи не подходят. В работе Ключковой и др. (1990) предложен метод оценки среднего химического состава обширных выборок звезд диска, основанный на последовательном вычислении среднего химического состава по эквивалентной ширине одной линии. В этом случае исключаются ошибки определения химического состава, возникающие из-за неточных значений сил осцилляторов, или из-за эффектов блендирования отдельных линий, или из-за неточного теоретического описания всей совокупности линий данного элемента. В работе Ключковой и др. (1991) метод был применен для оценки дисперсии металличности диска. В частности, была обнаружена зависимость среднего по изученным звездам содержания железа и дисперсии этой величины от потенциала возбуждения нижнего уровня линии, по эквивалентным ширинам которой эти величины вычислялись методом моделей атмосфер. В работе

Зача и др. (1991) показано, что для редкоземельных элементов, представленных в спектрах небольшим числом линий, ошибка определения химического состава практически не зависит от числа используемых линий. Таким образом, было показано, что метод одной линии позволяет понизить оценку дисперсии химического состава в диске и есть основания для применения метода одной линии в задаче анализа дисперсии содержания элементов, расположенных на кривой распространенности до и после железного пика.

Из 289 звезд каталога Клочковой и др. (1990) при оценке дисперсии химического состава исключены звезды, химсостав которых искажается эффектами сепарации (CP-звезды) или возможными эффектами перемешивания (сверхгиганты). Оставшуюся совокупность A и F-звезд разделили по признаку металличности, выделив звезды Am и Fm. При построении каталога Клочковой и др. (1990) для всех звезд одним и тем же методом были определены параметры моделей атмосфер, при этом использовался каталог профилей водородных линий Клочковой (1991). По этим параметрам методом интерполяции по узлам сетки моделей атмосфер Куруча (1979) В.В.Цымбалом вычислены индивидуальные модели атмосфер (детальное изложение метода дано в работе Клочковой и др. (1991)). Затем, выбирая для каждой линии i -эквивалентные ширины из каталога Клочковой и др. (1990), для каждой звезды по соответствующей модели мы вычисляли содержание данного химического элемента $\lg \varepsilon_i(X)$. Вычислялись также усредненные по всей исследуемой группе звезд величины $\langle \lg \varepsilon_i(X) \rangle$ и их дисперсии σ^2 . Силы осцилляторов $\lg gf$ использовались те же, что и в серии наших работ по определению химического состава групп звезд разных типов, здесь на этом вопросе мы не останавливаемся подробно, т.к. данный метод оценки дисперсии химического состава чувствителен только к грубым ошибкам в величинах $\lg gf$. В табл. 1 для каждого исследуемого элемента указано число использованных линий n , попадающих в диапазон $\lambda\lambda$ 3900-6800 Å. Число A- и F-карликов, принадлежащих группе нормальных или металлических звезд, для которых были вычислены $\lg \varepsilon(X)$, колеблется от 5 до 75 в зависимости от используемой линии. Для атомов Fe было показано (Клочкова и др., 1991), что $\langle \lg \varepsilon_i(\text{Fe}) \rangle$ и σ^2 являются функциями потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L , этот эффект можно ожидать и для других элементов. Но у каждого из исследуемых здесь элементов набор используемых линий недостаточен для обнаружения аналогичных эффектов, можно только утверждать, что для линий Sc^+ с потенциалами $\chi_L \sim 0.4$ и $\chi_L \sim 1.6$ eV дисперсии содержания Sc в диске различаются значимо.

Таблица 1. Число линий n , для каждой из которых оценивалась дисперсия содержания каждого химического элемента в диске, и величина минимальной дисперсии σ_{\min}^2

Элемент, ион	n	σ_{\min}^2	Элемент, ион	n	σ_{\min}^2	Элемент, ион	n	σ_{\min}^2
C	4	0.03	S	1	0.09	Ba ⁺	6	0.14
Na	6	0.07	Ca	25	0.02	La ⁺	8	0.09
Mg	5	0.05	Sc ⁺	17	0.01	Ce ⁺	10	0.09
Mg ⁺	4	0.05	Sr ⁺	3	0.24	Nd ⁺	2	0.08
Si	10	0.03	Y ⁺	11	0.04	Sm ⁺	2	0.14
Si ⁺	6	0.04	Zr ⁺	15	0.05	Eu ⁺	3	0.18
						Gd ⁺	1	0.16

Поэтому на рис. 1 и 2 для двух групп исследованных элементов построены сводные зависимости σ^2 от χ_L . Для оценки сверху величины реальной дисперсии химического состава при построении рис. 1 и 2 для каждой линии выбрана величина σ^2 , минимальная из значений, вычисленных отдельно для групп нормальных и металлических звезд. Соответствующие рис. 1 и 2 оценки величин σ_{\min}^2 приведены в табл. 1. Интересно, что для высоковозбужденной линии Ba^+ ($\lambda 5421.07$, $\chi_L = 5.72 \text{ eV}$) величина дисперсии $\sigma^2 = 0.06$, что существенно ниже приведенной в таблице оценки по линии с $\chi_L = 0.6 \text{ eV}$. Приходим к выводу, что для большинства исследованных элементов реальная дисперсия не превышает 0.1 dex , и только для линий с $\chi_L < 1 \text{ eV}$ обнаруживается методическое завышение дисперсии. Таким образом, вывод работы Клочковой и др. (1991) о связи дисперсии металличности $\sigma^2 \lg \epsilon(\text{Fe})$ и потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L распространен на более легкие и более тяжелые элементы. То обстоятельство, что рассматриваемые группы элементов синтезируются в принципиально различных процессах, а характер зависимости сохраняется, служит дополнительным аргументом в пользу методического характера завышения дисперсии, определяемой по резонансным линиям.

Рис. 1. Сопоставление дисперсии содержания данного элемента, оцениваемой по одной линии, с потенциалом возбуждения данной линии. Обозначения: ∇ - C, \square - Na, Δ - Mg, Mg^+ ; x - Si, Si^+ , \diamond - S, \bullet - Ca, + - Sc.

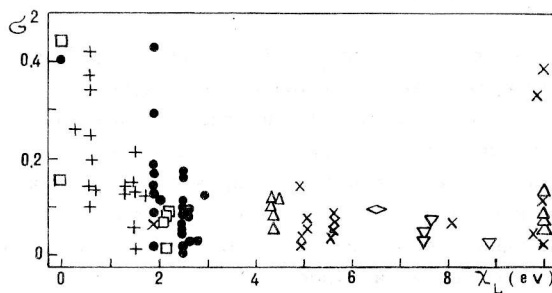
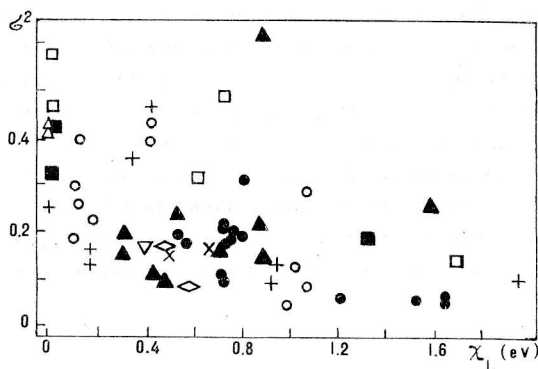


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но для тяжелых элементов. Обозначения: Δ - Sr^+ , \circ - Y^+ , \bullet - Zr^+ , \square - Ba^+ , + - La^+ , \blacktriangle - Ce^+ , \diamond - Nd^+ , x - Sm^+ , \blacksquare - Eu^+ , ∇ - Gd^+ .



К сожалению, дисперсию содержания Sr, Ba, Eu можем оценить только по линиям с $\chi_L = 0.0 \text{ eV}$. Взаимные корреляции этих элементов, рассмотренные для звезд диска в работе Клочковой и Панчука (1988), теперь могут быть интерпретированы как результат совместного действия методических ошибок и эффектов синтеза этих элементов в результате эволюции звезд гало. Из рис. 1 и 2 следует, что мы вправе ожидать одинакового воздействия методических ошибок как на величину содержания Sr и Ba, так и на $\lg \epsilon(\text{Eu})$. На рис. 3а и 3б приведены корреляции "элемент-элемент", коэффициенты корреляции $r(\text{Ba}, \text{Sr}) = 0.89$ и $r(\text{Ba}, \text{Eu}) = 0.68$. Видно, что для легкого (Sr) и тяжелого (Ba) элементов s-процесса содержания изменяются от звезды к звезде

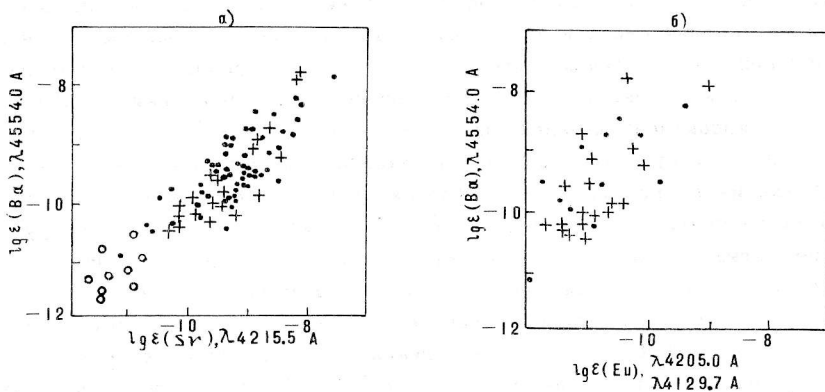


Рис.3. Сравнение содержаний, вычисленных по линиям с $\chi_L=0.0\text{eV}$. За а) для Sr и Ba; б) для Eu и Ba. Обозначения: ● - нормальные A и F-звезды; + - звезды Am и Fm; ○ - A-звезды гало.

более согласованно, чем в случае сравнения содержаний бария и синтезируемого преимущественно в r-процессе европия. Этот результат может быть следствием того известного из теории звездного нуклеосинтеза обстоятельства, что элементы s- и r-процессов синтезируются в звездах существенно различающихся масс и на разных стадиях их эволюции, что приводит к различию временных шкал процессов обогащения дозвездного вещества этими элементами. Не исключено также, что перемешивание дозвездного вещества, синтезированного в r-процессе, с веществом, синтезированным в s-процессе, неполное.

Для изучения особенностей эволюции химического состава на ранних стадиях развития Галактики рассматривается ход дифференциальных (по отношению к Fe) содержаний элементов от металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$. В спектрах звезд гало большинство элементов представлено немногочисленными линиями, а тяжелые элементы - линиями с $\chi_L=0.0\text{eV}$. Поэтому предложенный в работе Клочковой и др. (1990) метод оценки характеристик химического состава групп звезд открывает возможности уточнения деталей кривой распространенности химических элементов. Учитывая сходный характер поведения дисперсии σ^2 от χ_L у элементов различных групп, следует при вычислении относительных содержаний $[X/\text{Fe}]$ и металличностей $[\text{Fe}/\text{H}]$ использовать линии железа, близкие по величине χ_L к исследуемому элементу X.

ЛИТЕРАТУРА

- Зач Л. А., Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1991, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 33, 29.
- Клочкова В. Г., Мишенина Т. В., Панчук В. Е.: 1989, *Письма в астроном. ж.*, 15, 315.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1988, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 26, 14.
- Клочкова В. Г.: 1991, *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв.*, 66, 5.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Федорова О. В.: 1990, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 29, 84.

Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Цымбал В. В.: 1991, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО),
33, 41.

Куруч (Kurucz R. L.): 1979, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1.

Поступила в редакцию
5 апреля 1991 г.