

**Двадцать красных гигантов с  
магнитными полями: детальный анализ  
химического состава**

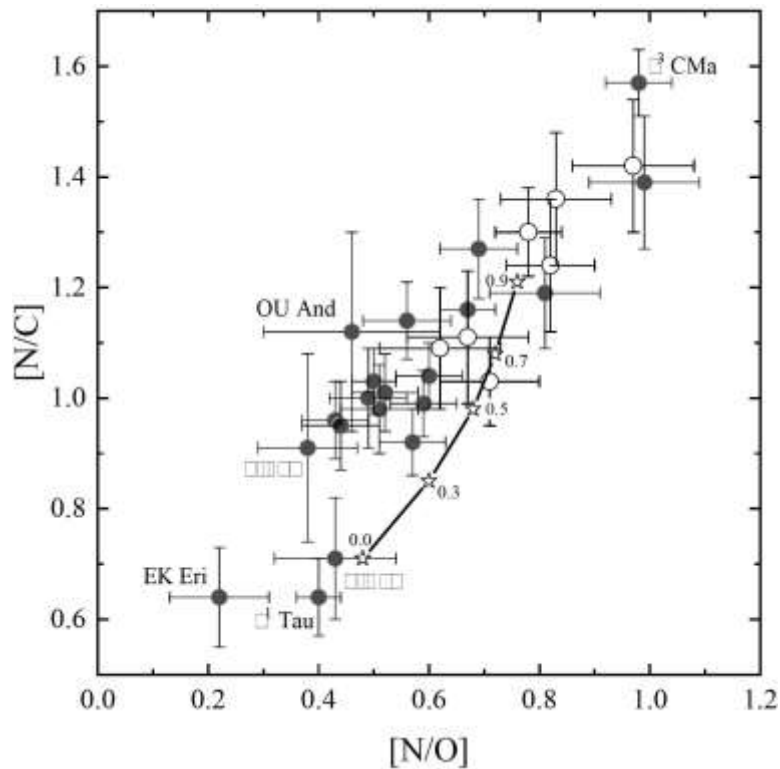
**Л.С. Любимков, С.А. Коротин,  
Д.В. Петров, Д.Б. Поклад**

КрАО РАН

Исследованы 20 G- и K-гигантов в пределах 150 пк от Солнца, для которых Aurière et al. (2015) измерено магнитное поле. Основной вопрос: есть ли в химическом составе этих магнитных гигантов каких-либо особенностей, отличающих их от нормальных красных гигантов без магнитного поля? Максимальное поле  $B_{\text{max}}$  у этих звезд варьируется от 0.3 до 98.6 Гс. Определены фундаментальные параметры:  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ , а также масса, светимость, радиус и возраст.

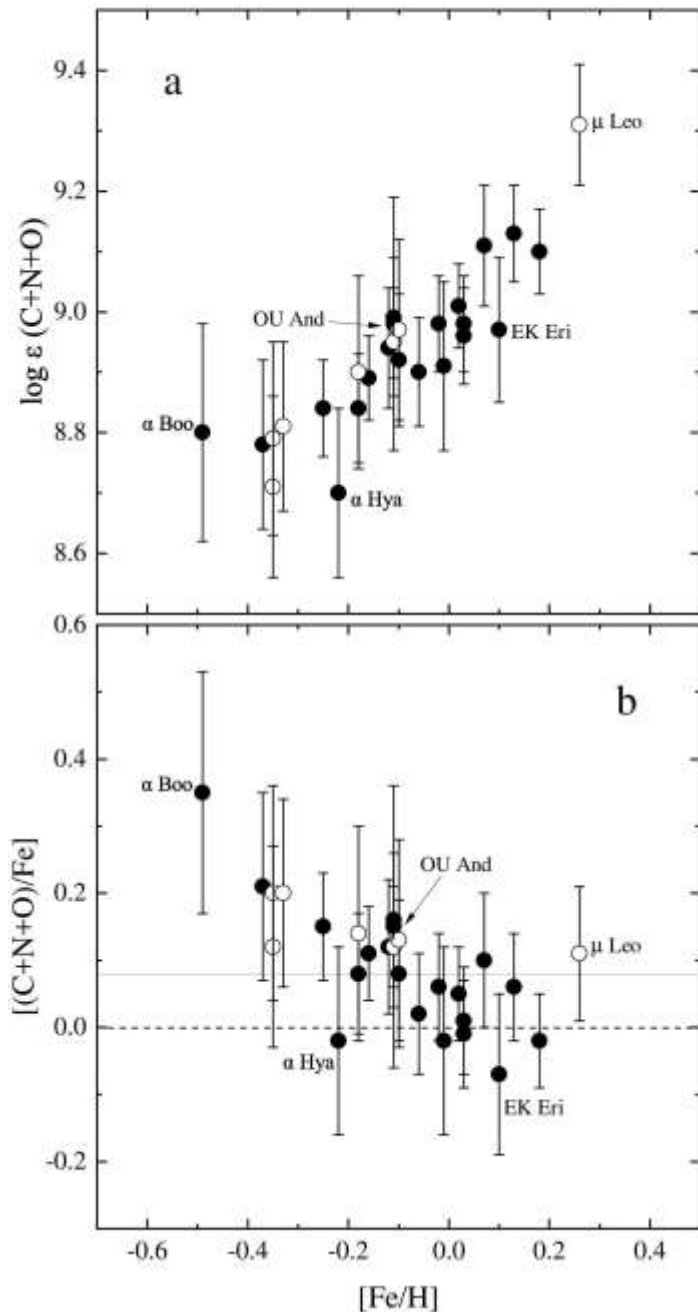
Массы звезд  $M/M_{\odot} = 1.1\text{--}4.1$ . Найдено содержание 18 химических элементов от лития ( $Z = 3$ ) до гафния ( $Z = 72$ ). Анализ линий Li I, C I и O I выполнен с учетом неЛТР эффектов. Содержание лития  $\log \epsilon(\text{Li})$  у большинства этих звезд лежит в интервале от 0.6 до 1.5. По инфракрасным линиям молекулы CN найдено содержание азота и отношение изотопов углерода  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ . Низкие значения  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 7\text{--}26$  доказывают, что программные гиганты прошли глубокое конвективное перемешивание в фазе FDU (First Dredge-Up).

**Основываясь на результатах исследования 20 магнитных и 7 немагнитных гигантов, можно сказать, что не найдено каких-нибудь явных систематических отличий в содержаниях элементов между этими двумя группами звезд.**



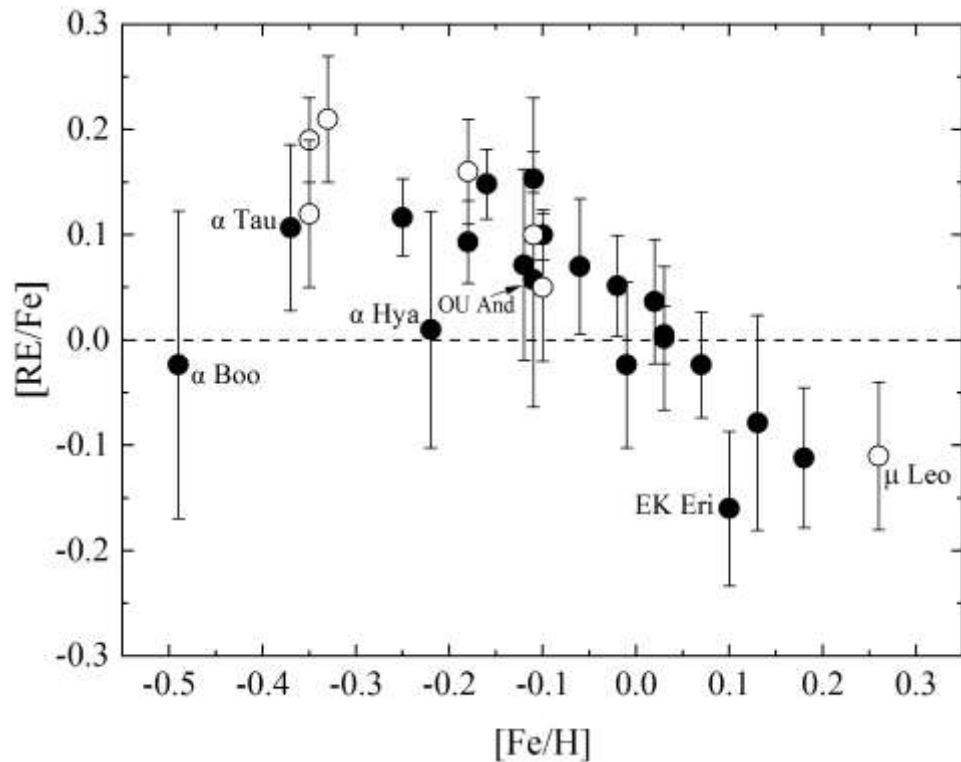
Корреляция между  $[N/C]$  и  $[N/O]$ . Общим свойством красных гигантов является избыток азота и дефицит углерода в их атмосферах. На рис.1 представлена полученная нами ярко выраженная корреляция между  $[N/C]$  и  $[N/O]$  для 20 магнитных гигантов (заполненные кружки), а также (для сравнения) для 7 немагнитных звезд с планетами (открытые кружки).

Сплошной линией показана теоретическая зависимость  $[N/C]$  от  $[N/O]$  для модели вращающейся звезды с массой  $2.5 M_{\odot}$  (фаза post-FDU, конец горения гелия). Узловые точки от 0.0 до 0.9 на этой линии соответствуют разным значениям  $\Omega/\Omega_{crit}$ . Из сравнения с теорией следует, что полученная зависимость  $[N/C]$  от  $[N/O]$  фактически является отражением зависимости этих двух величин от начальной скорости вращения звезд. Однако теория не может объяснить наблюдаемые на рис. 1 высокие значения  $[N/C]$  от 1.2 до 1.6. Как отмечено в Aurière et al. (2015), здесь приходится привлекать гипотезу дополнительного неконвективного перемешивания (extra mixing) в красных гигантах,



На рис.2 представлено суммарное содержание C+N+O как функция индекса металличности  $[Fe/H]$ . Приведены две величины; а)  $\log \varepsilon(C+N+O)$  в обычной шкале и б) величина  $[(C+N+O)/Fe]$ . Горизонтальные прямые соответствуют разным  $\log \varepsilon(C+N+O)$  для Солнца: 9.02 для 1D-модели (сплошная линия) и 8.94 для 3D-модели (штриховая линия). Видно, что те гиганты, у которых  $[Fe/H] \approx 0$ , показали сумму C+N+O, фактически равную солнечному значению.

Ясно видна зависимость C+N+O от  $[Fe/H]$ . Это происходит оттого, что наибольший вклад в сумму C+N+O вносит кислород, а для последнего давно известна антикорреляция между  $[O/Fe]$  и  $[Fe/H]$ .



Рассмотрено 11 элементов от Cu до Hf. На рис. 4 представлена антикорреляция между  $[RE/Fe]$  - средним содержанием RE-элементов относительно Fe и  $[Fe/H]$ . Виден тренд  $[RE/Fe]$  с ростом  $[Fe/H]$ , при этом величина  $[RE/Fe]$  падает почти на 0.4 dex при увеличении  $[Fe/H]$  от -0.35 до +0.26 dex. Эта зависимость отражает различия в начальном химическом составе гигантов и ее объяснение, как и в случае рис. 2, следует искать в современных моделях химической эволюции Галактики.

Из общего тренда явно выпадает Арктур ( $\alpha$  Boo), гигант с самой низкой металличностью  $[Fe/H] = -0.49$  в нашем списке. Среднеквадратичная ошибка в значении  $[RE/Fe]$  для этой звезды особенно велика. Она обусловлена реальными различиями в относительных содержаниях между отдельными RE-элементами. Особенно велика разница между европием, элементом r-процесса, и лантаном, элементом s-процесса. Разница между  $[Eu/Fe]$  и  $[La/Fe]$  составляет около 0.4 dex. По нашему мнению, случай Арктура требует дополнительного исследования.