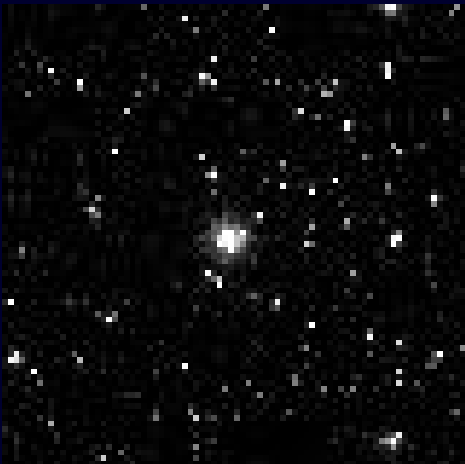


**Особенности содержаний некоторых  
химических элементов  
в богатых металлами  
переменных звездах типа RR Лиры поля**

*Гожа Марина Львовна*

*Марсаков Владимир Андреевич*

*Коваль Вера Васильевна*



Южный федеральный университет

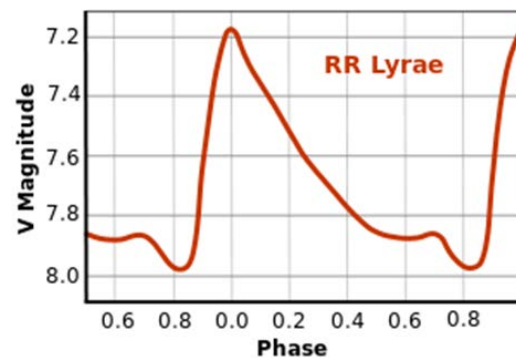
Ростов-на-Дону

2019

# Переменные типа RR Лиры

## (лириды)

- Радиально пульсирующие переменные спектральных классов А-F, населяющие полосу неустойчивости горизонтальной ветви.
- В отличие от лирид шаровых скоплений среди переменных типа RR Лиры поля Галактики есть обладающие *высокой металличностью и кинематическими свойствами, характерными для дисковых подсистем.*



*Марсаков и др.* (АЖ, 95, 54, 2018) заметили, что относительные содержания титана в большинстве богатых металлами лирид ( $[Fe/H] > -1.0$ ) значительно ниже, чем в карликах поля.

*Clementini et al.* (1995); *Liu et al.* (2013); *Chadid et al.* (2017) обратили внимание на более низкие относительные содержания титана, скандия и иттрия в лиридах с  $[Fe/H] > -1.0$  по сравнению со стационарными звездами такой же металличности.

## Цель работы:

*анализ аномальных относительных содержаний некоторых химических элементов в богатых металлами ( $[Fe/H] > -1.0$ ) лиридах галактического поля.*

# Химические элементы

- **Sc** - элемент железного пика
- **Ti** -  $\alpha$ -элемент (элемент группы железа)
- **Y** - элемент *s*-процесса
  
- **Zr** - элемент *s*-процесса
- **La** - элемент *s*-процесса
- **Eu** - элемент *r*-процесса

# Исходные данные

✓ *Спектроскопические определения [Fe/H] и [Ti /Fe], [Y /Fe], [Zr /Fe], [La /Fe], [Eu /Fe] для 100 переменных типа RR Лиры галактического поля из нашего каталога (Марсаков и др., АЖ, 95, 54, 2018).*

[Fe/H] и [e/Fe] собраны из 25 публикаций с 1995 по 2017 гг., вычислены как средневзвешенные в случаях двух и более определений разными авторами и приведены к единому солнечному обилию.

✓ *Для 77 лирид добавили относительные содержания скандия [Sc/Fe].*

[Sc/Fe] собраны из 15 статей с 1995 по 2017 гг.

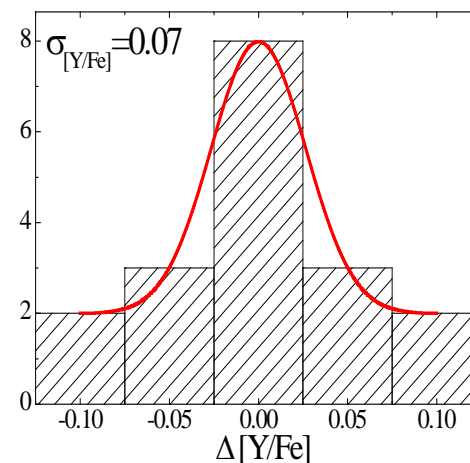
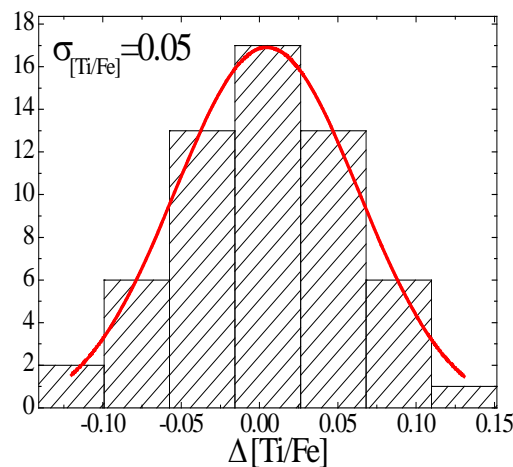
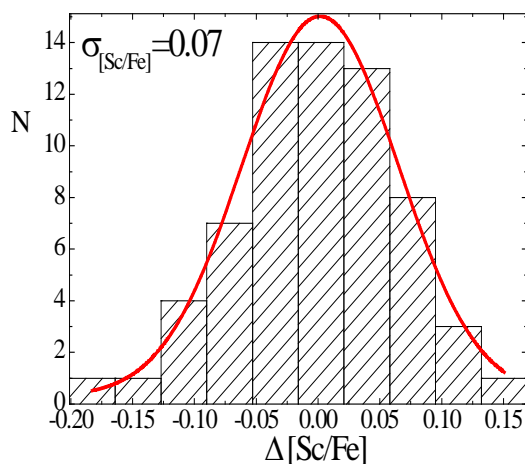
Вычислены средневзвешенные значения, приведены к единому солнечному обилию.

# Ошибки определения относительных содержаний

## ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Оптимальная фаза для определения химического состава – фаза минимального блеска и максимального радиуса звезды ( $\varphi \approx 0.35$ ).

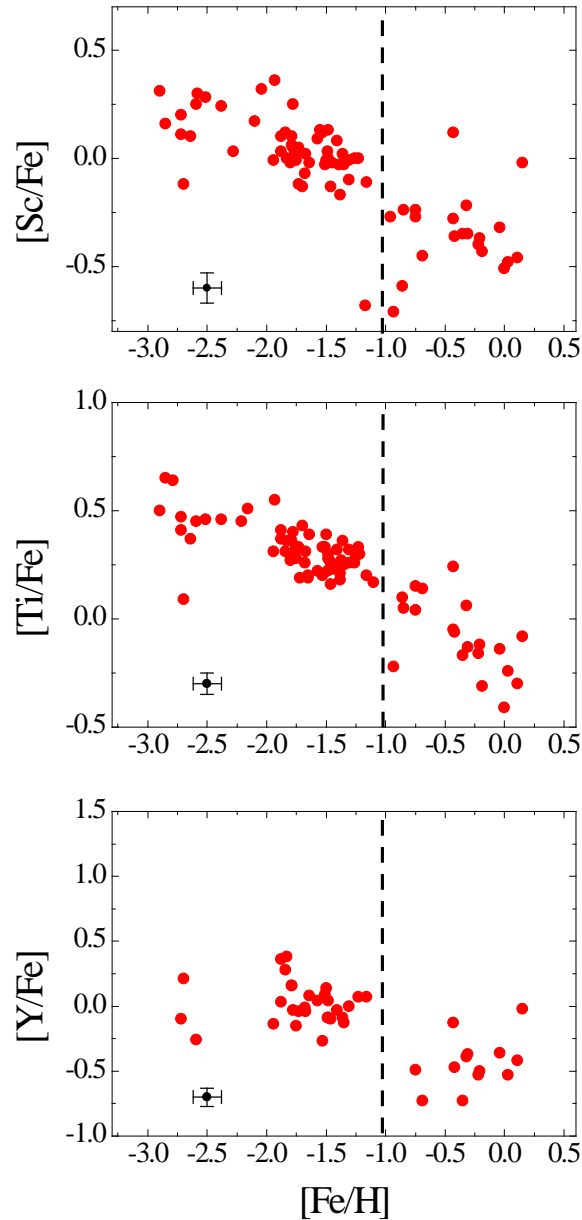
Химический элемент	Количество звезд	Средняя заявленная ошибка	Дисперсия вычисленного среднего
Fe	100	0.14	0.12
Sc	77	0.14	0.07
Ti	83	0.13	0.05
Y	43	0.11	0.07



*Дисперсия вычисленных средневзвешенных меньше средних авторских ошибок.*

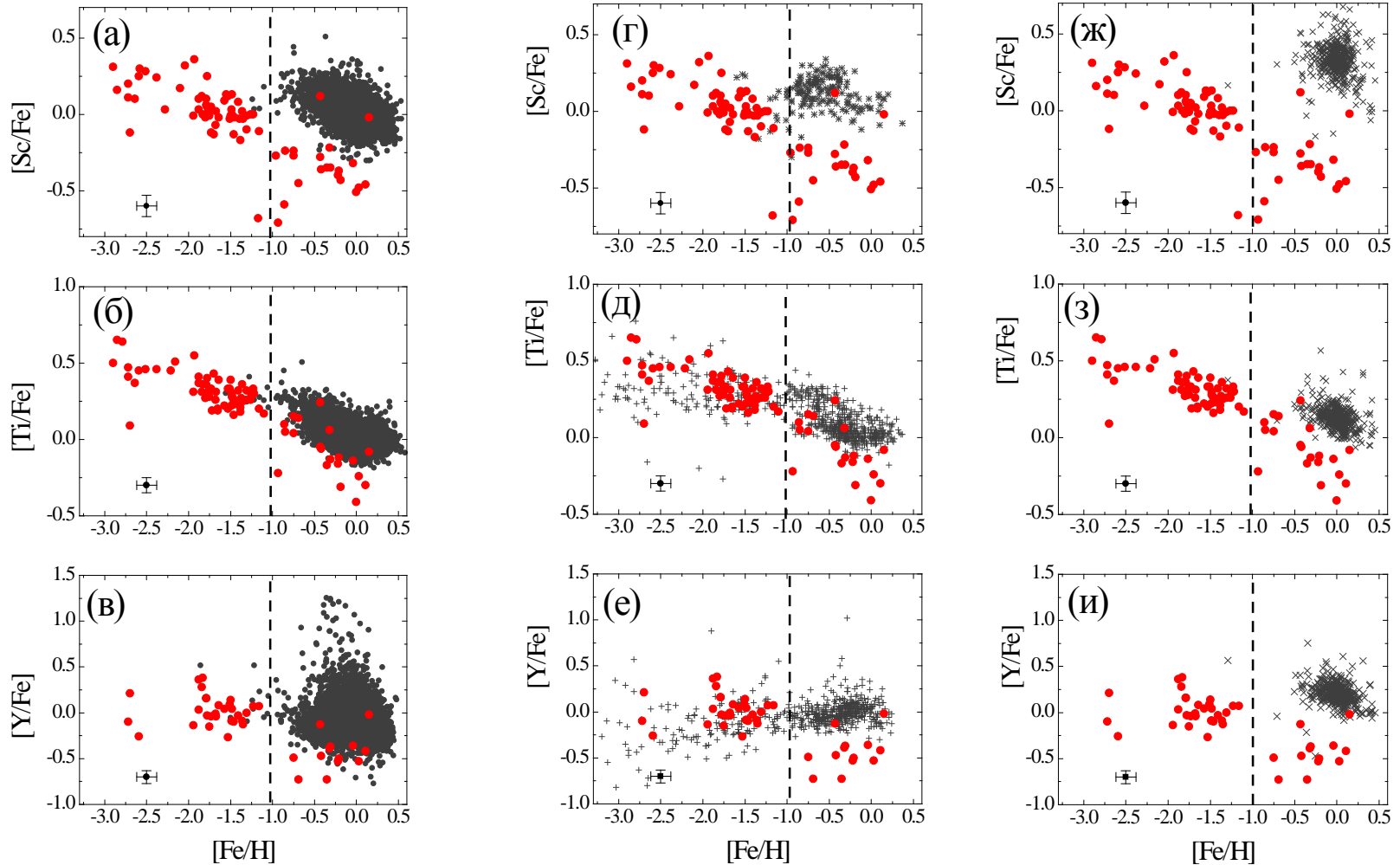
*Распределения описываются нормальным законом, что позволяет считать ошибки случайными. Обилия Sc, Ti и Y надежны и пригодны для анализа поведения  $[e/\text{Fe}]$ .*

# [Fe/H] – [el/Fe] для лирид



Sc II  
Среднее: Ti I и Ti II  
Y II

# Сравнение со звездами поля



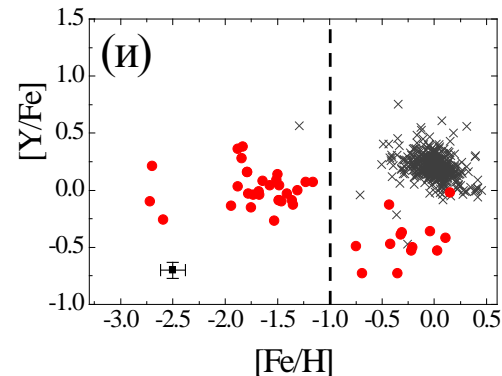
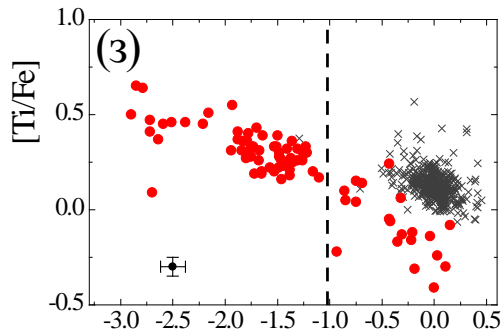
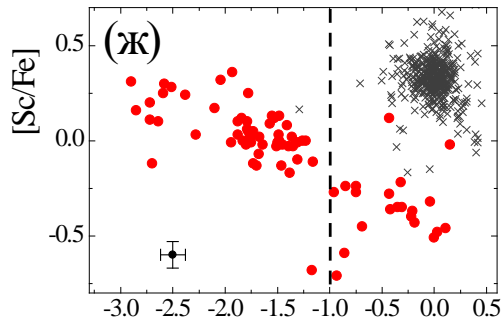
(а-в): 7066 близких карликов, субгигантов и звезд вблизи точки поворота дисковых подсистем (Buder et al., A&A, **624**, A19, 2019)

(г): 171 F-G-карлик (Reddy et al., MNRAS, **367**, 1329, 2006)  
(д, е): 781 звезды поля (Venn et al., AJ, **128**, 1177, 2004)

(ж-и): 435 цефеид (Luck, AJ, **156**, 171, 2018)



# Лириды и цефеиды



*Лириды с [Fe/H] > -1.0:*

$$\langle [\text{Sc}/\text{Fe}]_{\text{RR}} \rangle = -0.34 \pm 0.04$$

$$\langle [\text{Ti}/\text{Fe}]_{\text{RR}} \rangle = -0.08 \pm 0.04$$

$$\langle [\text{Y}/\text{Fe}]_{\text{RR}} \rangle = -0.44 \pm 0.06$$

*Цефеиды:*

$$\langle [\text{Sc}/\text{Fe}]_{\text{цеф}} \rangle = 0.33 \pm 0.01$$

$$\langle [\text{Ti}/\text{Fe}]_{\text{цеф}} \rangle = 0.13 \pm 0.01$$

$$\langle [\text{Y}/\text{Fe}]_{\text{цеф}} \rangle = 0.20 \pm 0.01$$

# Попытки объяснения

✓ *Clementini et al.*, AJ, 110, 2319, 1995: Sc и Y

*не объясняется*: ошибки атмосферных параметров; процессы нуклеосинтеза **сверхионизация** этих элементов вызвана фотонами, испускаемыми в линиях Лаймана (индуцируются ударными волнами); приводит к заниженным содержаниям элементов. (*Ho*: Clementini et al., 1995; Liu et al., 2013: отсутствие аналогичного эффекта у малометаллических лирид)

✓ *Liu et al.*, RAA, 13, 1307, 2013: Sc и Y

*не объясняется*: сверхтонкое расщепление линий Sc (незначительное) Т.к. [Sc/Fe] и [Y/Fe] определяются с помощью линий **ионизованных** атомов, отклонения могут быть вызваны различиями в **lg g** у переменных типа RR Лиры и карликов. (*Ho*: у цефеид lg g меньше, а [el/Fe] больше, чем у карликов и лирид)

✓ *Chadid et al.*, ApJ, 835, 187, 2017

различия в **механизмах распространения ударных волн** в богатых и бедных металлами лиридах связаны с различиями в параметрах атмосфер. В их выборке  $T_{\text{эфф}}$  и **lg g** больше у богатых металлами лирид (*Ho*: для 100 лирид  $T_{\text{эфф}}$  и **lg g** в пределах ошибок совпадают в обеих группах (Марсаков и др., АЖ, 96, 219, 2019))

# Попытки объяснения

✓ **Пульсации** атмосфер переменных звезд  
(*Ho*: цефеиды)

✓ **Отклонения от ЛТР:**

- гиганты более подвержены отклонениям от ЛТР  
(*Ho*: цефеиды и другие звезды сравнения)

- линии нейтральных атомов более подвержены отклонениям от ЛТР

(*Ho*: Sc II и Y II; Ti I и Ti II)

✓ **Происхождение:** *родительское межзвездное вещество с химическим составом, отличающимся от межзвездной материи, из которой образовалось большинство близких звезд поля*

# Содержания европия, циркония и лантана

Отсутствие данных о содержаниях европия, циркония и лантана  
в *богатых металлами* лиридах

## *Почему нет таких данных?*

- Авторы не ставили цель определить?
- Eu, Zr и La в *богатых металлами* лиридах настолько мало, что даже невозможно установить их содержание?

Для некоторого количества *бедных металлами* лирид обилия европия, лантана и циркония известны.

# Выводы

- ✓ Не удается обосновать аномально низкие относительные содержания скандия, титана и иттрия в богатых металлами лиридах поля ошибками определения обилий этих элементов.
- ✓ Не удастся объяснить их эффектами, возникающими в нестационарной атмосфере этих звезд.
- ✓ Причина отсутствия данных об обилиях европия, лантана и циркония в богатых металлами лиридах непонятна.
- ✓ Можно допустить, что металлические лириды именно такие содержания рассматриваемых элементов приобрели из родительского межзвездного облака, испытавшего историю химической эволюции, отличную от той, которую прошло родительское межзвездное вещество большинства близких к Солнцу звезд поля.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**