



Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Доказательства реликтовой природы магнитных полей химически пекулярных звёзд

И. И. Романюк, Е. А. Семенко, И. А. Якунин,
А. В. Моисеева, Д. О. Кудрявцев, А. В. Аитов

Всероссийская конференция «Физика звёзд: теория и наблюдения»
Москва, ГАИШ МГУ, 26-30 июня 2023 г

Введение

ИЗВЕСТНО:

около 500
магнитных
Ap/Bp звезд

физические параметры
для нормальных A и B
звезд такие же, что и
для магнитных Ap/Bp

крупномасштабное магнитное поле,
медленное вращение, депрессии на
уровне континуума, аномалии
химического состава

НЕ ИЗВЕСТНО:

Происхождение крупномасштабного магнитного поля: теории реликтового происхождения, динамо, слияние ядер протозвезд и т.д.

РЕШЕНИЕ:

Наблюдательный тест: исследование mCP-звезд разного возраста

Bp звезды (около 75%) члены
скопления с хорошо известным
возрастом

Ap звезды (около 70%) являются
звездами-поля и их возраст плохо
изучен

Магнитное поле CP-звезд

Формулы для расчета среднеквадратичного магнитного поля, его ошибки и статистической величины χ^2/n

$$B_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ei}^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right]^{1/2}$$

$$\chi^2/n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_{ei}}{\sigma_i} \right)^2$$

Звезду можно считать магнитной когда продольное магнитное поле
 $B_e > 100 - 500$ Гс

ТОЧНОСТЬ:

$\sigma(B_e) \approx 100$ Гс для холодных звезд,

$\sigma(B_e) \geq 500$ Гс для горячих звезд с большой скоростью вращения

Первый этап. Ассоциация Орион OB1

Звездное население ассоциации:
814 звезд (Brown et al., 1994)

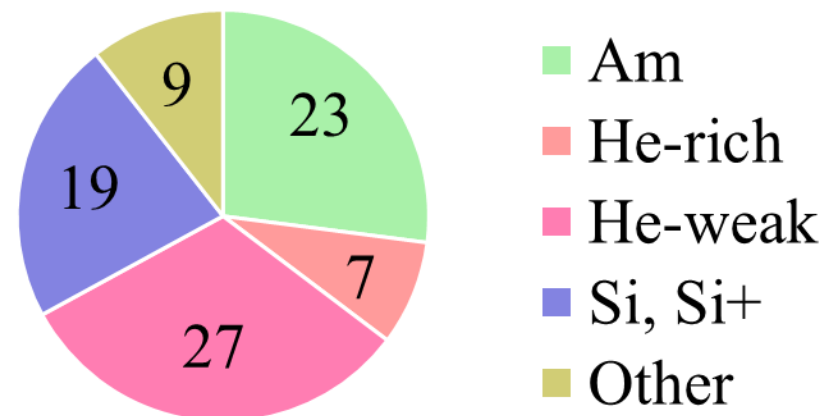
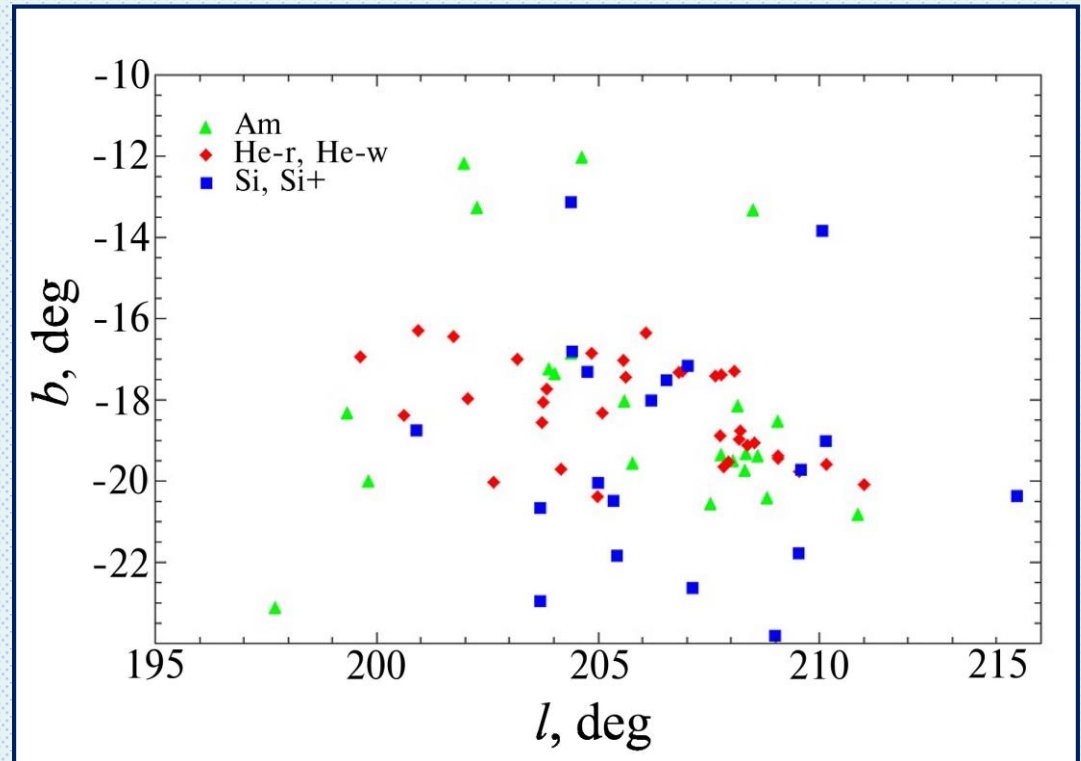
Всего 85 CP-звезд (Romanyuk et al., 2013):

- 23 Am-звезды переднего фона
- 6 CP-звезд детально изучены

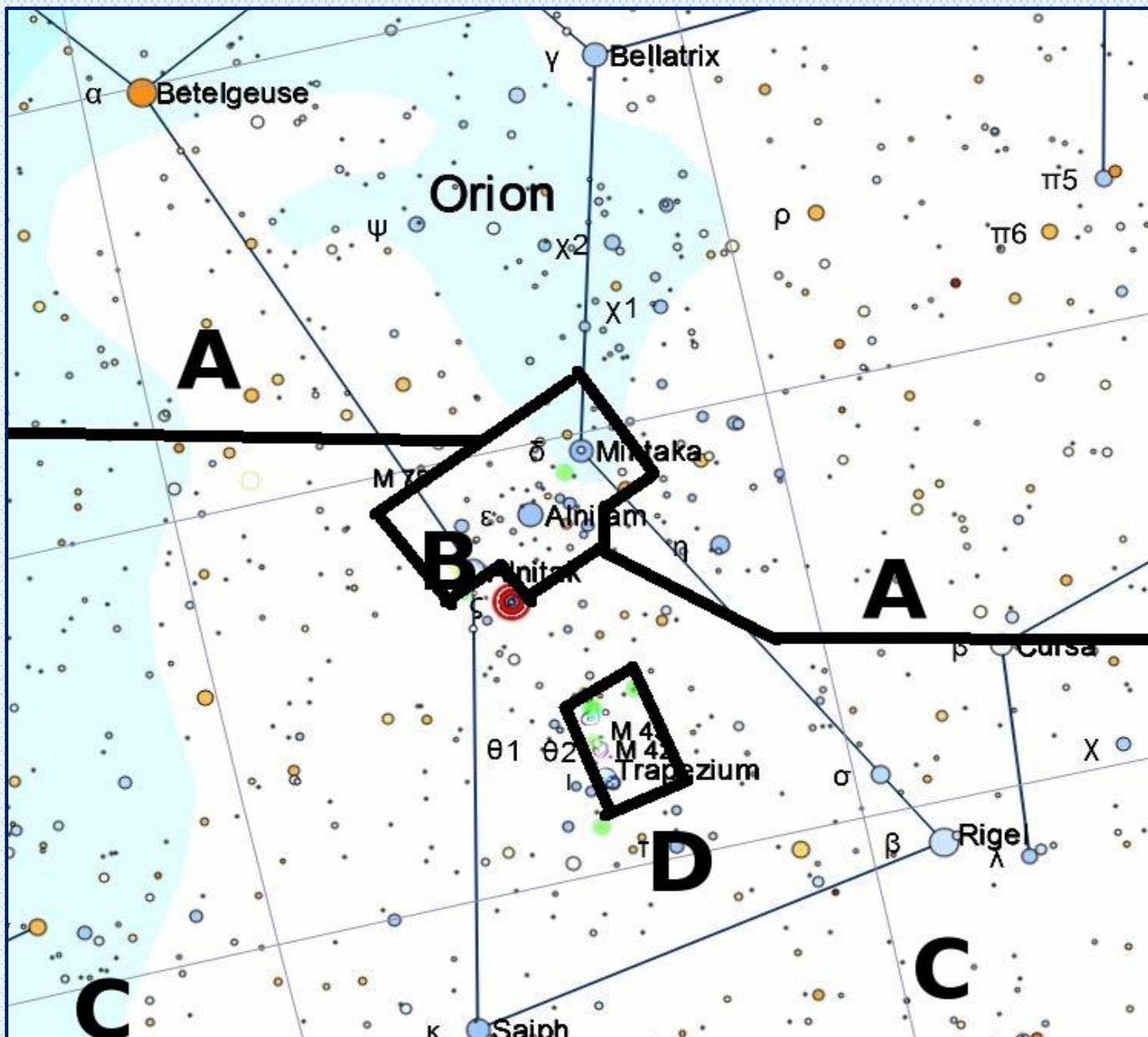
Магнитное поле 17 mCP-звезд
было обнаружено J. Landstreet и
его коллегами.

ИТОГО: для исследования
выбрано 56 CP-звезд

ОЗСП БТА: получено более 600
зеемановских спектров

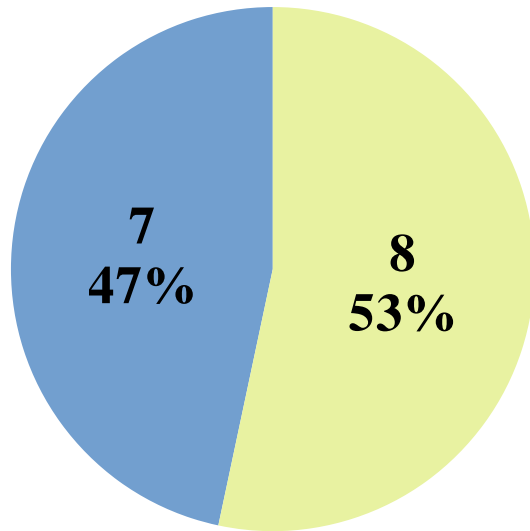


Подгруппы ассоциации Orion OB1



Магнитное поле CP-звезд в подгруппах

Subgroup A

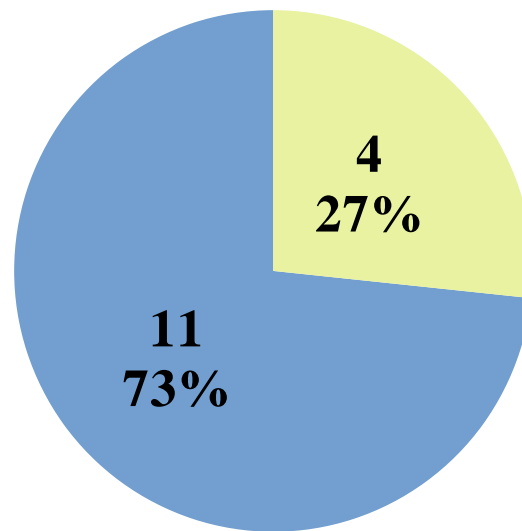


■ mCP ■ CP

$$\log t = 7.0$$

$$B_{\text{rms}} = 1290 \pm 230 \text{ Гс}$$

Subgroup B

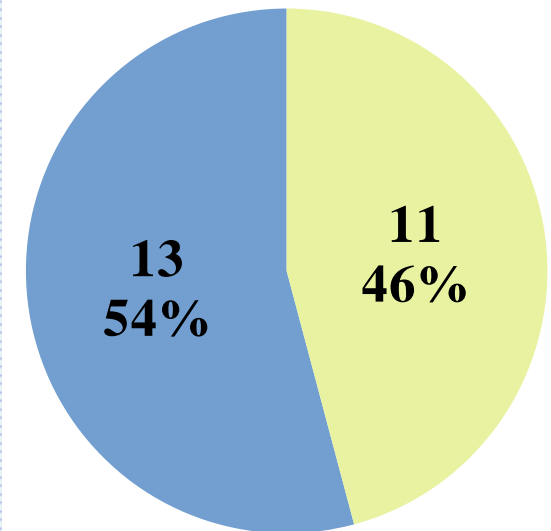


■ mCP ■ CP

$$\log t = 6.2$$

$$B_{\text{rms}} = 3015 \pm 215 \text{ Гс}$$

Subgroup C



■ mCP ■ CP

$$\log t = 6.6$$

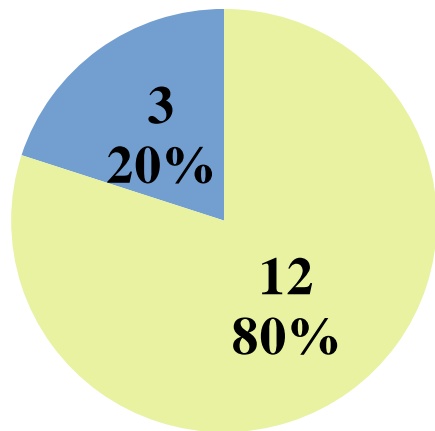
$$B_{\text{rms}} = 1075 \pm 145 \text{ Гс}$$

Subgroup D: нет магнитных среди 3 CP-звезд, $\log t < 6.0$

Магнитные звезды в Туманности Ориона

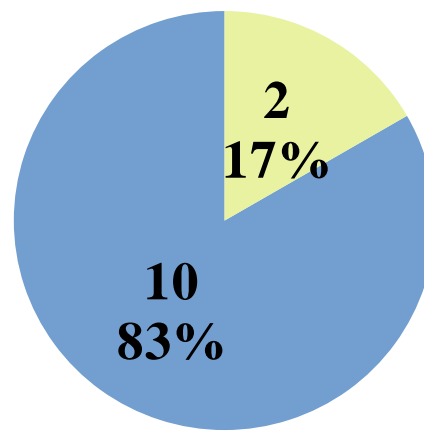
Всего в подгруппах C и D: 27 CP-звезд:
15 являются членами Туманности Ориона;

IN
Orion Nebulae



■ mCP ■ CP

OUT
Orion Nebulae



■ mCP ■ CP

Большие различия.

- Звезды в Туманности Ориона моложе
- Ae/Be Хербига -?

Результаты первого этапа

Всего 31 mCP-звезд в ассоциации (55%), из которых 14 найдены нами впервые

Доля mCP-звезд и их величина магнитного поля ($B_{\text{rms}} \approx 3$ кГс) с возрастом 1-2 млн лет в **три раза больше**, чем для mCP-звезд с возрастом 8-10 млн лет ($B_{\text{rms}} \approx 1$ кГс)

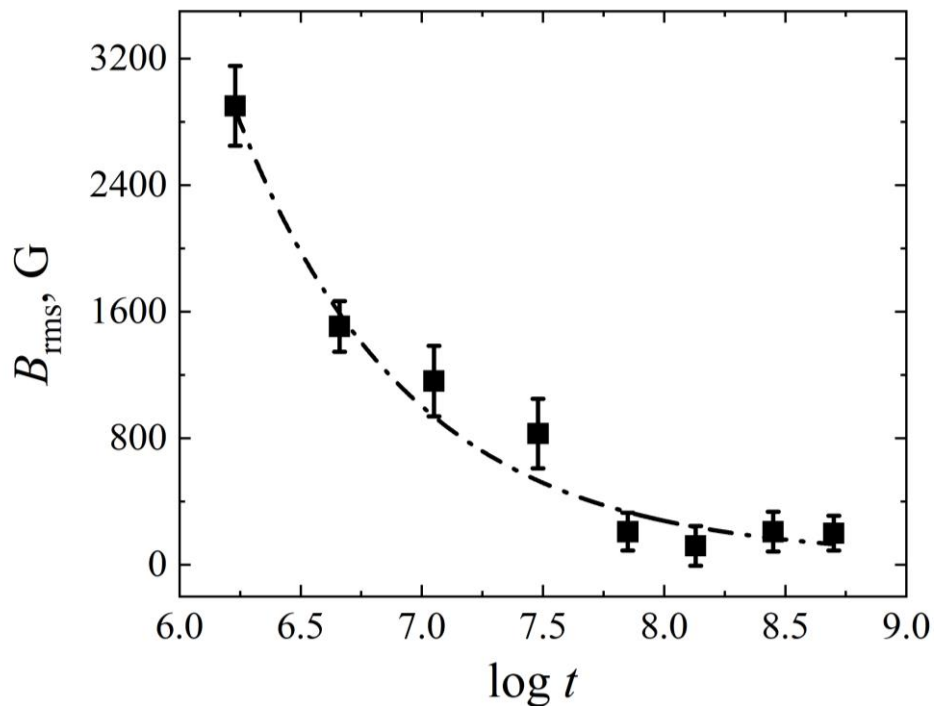
альтернативная гипотеза: падение магнитного поля вызвано не быстрым распадом, а является результатом воздействия разных условий при его формировании в нашей Галактике в разное время

Большое количество звезд Ae/Be Хербига ($B_{\text{rms}} < 1$ кГс). Вероятно магнитное поле значительно сильнее, но методика поиска и измерений не позволяет это выявить из-за сложной пятнистой структуры и наличия газопылевой оболочки

Сегрегация магнитных CP-звезд В и ВНЕ Туманности Ориона

Второй этап исследования

Название	$\log t$	CP / mCP	$\langle B_{\text{rms}} \rangle \pm \langle \sigma_{\text{rms}} \rangle (\chi^2/n)$
кинематическая группа Pleiades	7.48	21 / 8	$830 \pm 220 (27.8)$
α Per	7.85	8 / 2	$210 \pm 120 (5.5)$
Pleiades	8.13	4 / 0	$120 \pm 125 (2.5)$
NGC 7092	8.45	5 / 0	$210 \pm 125 (3.1)$
IC 4756	8.70	6 / 3	$200 \pm 110 (5.5)$



в кинематической группе Pleiades $\langle B_{\text{rms}} \rangle$ примерно соответствует $\langle B_{\text{rms}} \rangle$ в подгруппах ассоциации Орион OB1 А и С, но в три раза меньше, чем в самой молодой подгруппе В

Магнитное поле B_e более 2 кГс найдено в одном объекте, еще в двух B_e более 1 кГс. В целом магнитные звезды более старых скоплений имеют B_e менее 500 Гс.

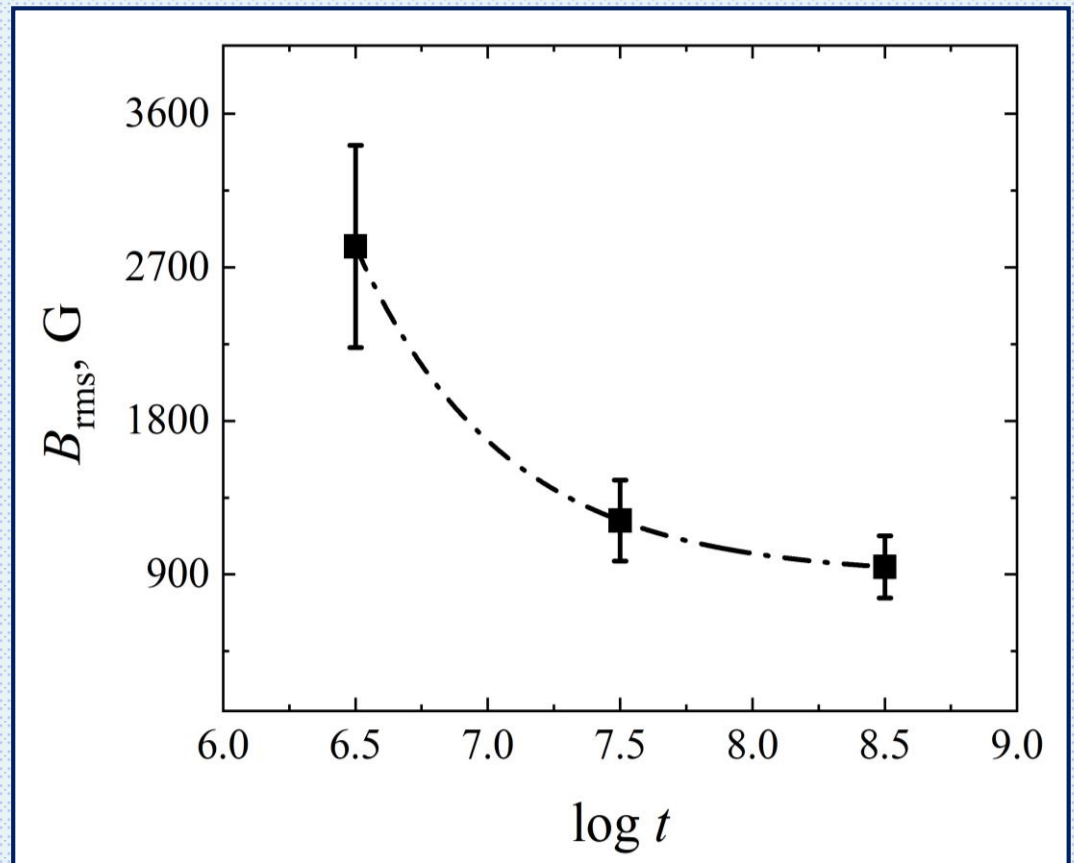
Второй этап исследования

С учетом литературных и наших результатов исследований мы определили магнитное поле еще 70 звезд из скоплений разного возраста

ПРОБЛЕМЫ:

неточное определение возраста

малое количество измерений магнитного поля



Работа будет продолжена.

Получен предварительный результат

Заключение

ПОКАЗАНО:

Магнитное поле в молодых скоплениях больше, чем в старых

Генерация магнитного поля на главной последовательности не происходит

Крупномасштабное поле Ар/Вр-звезд ГП образовалось на стадиях эволюции до ГП

Наличие звезд с периодом вращения годы-десятилетия (сверхмедленные ротаторы) с сильным магнитным полем подтверждают теорию реликтового происхождения магнитного поля

Работа выполнена в рамках проекта РФФ No. 21-12-00147