

Всероссийская конференция с международным участием
Физика звёзд: теория и наблюдения
ГАИШ МГУ, 26-30 июня 2023

Обнаружение первой звезды подкласса *CEMP-r/s* в балдже Галактики



Л.И. Машонкина

Институт астрономии РАН, Россия

A. Arentsen (University of Cambridge, UK),

D.S. Aguado (Instituto de Astrofísica de Canarias, Spain),

A. Смогоржевский (МГУ, ИНАСАН, Россия)

CEMP = Carbon-Enhanced Metal-Poor:

$$[\text{Fe}/\text{H}] < -2 \text{ (VMP)}, [\text{C}/\text{Fe}] > 0.7$$

Происхождение CEMP

- ◆ Не связано с эволюцией самой звезды.
- ◆ Рождение в м/з среде с избытком C (+N, O, Na, Mg).
Например, продукты *faint SN*.
- ◆ Двойная система, перенос вещества с AGB.

CEMP-r/s обогащены элементами r- и s-процессов:

$$[\text{Eu}/\text{Fe}] > 0, [\text{Ba}/\text{Fe}] > 0, 0 < [\text{Ba}/\text{Eu}] < 0.5 \text{ (Beers, Christlieb, 2005)}$$

Природа CEMP-r/s

пока не ясна.

$$[\text{X}/\text{Y}] = \log N_{\text{X}}/N_{\text{Y}} - \log(N_{\text{X}}/N_{\text{Y}})_{\odot}$$

Pr184237 = Pristine_184237.56-260624.5, история

Pristine: MegaCam/CFHT, CaHK фильтр (*Starkenburg+ 2017*)

Pristine Inner Galaxy Survey (PIGS): (*Arentsen+ 2020, 2021*)

- поиск VMP в балдже, фотометрия → ~ 8350 звёзд
- 3.9-м ААТ, спектры, $R \approx 1300$ → ~ 1900 VMP / 96 CEMP
- для 20 звёзд спектры UVES/VLT, $R \approx 42000$

Одна из них — CEMP, Pr184237

- $G = 15.52^m$, $E(B-V) = 0.38$, $d = 8 \pm 2.6$ кpc
- апоцентр: 2.56 ± 0.93 кpc, перицентр: < 1 кpc,
- лучевая скорость: -12.5 до -39.4 км/с → двойная

(*ML, Arentsen, Aguado, Smogorzhevskii, et al. 2023, MNRAS, 523, 2111*)

Pr184237, параметры атмосферы

- $T_{\text{эфф}} = 5100 \text{ K}$ ($\text{H}\alpha$), 5070 K (IRFM), 5190 K (показатели цвета Gaia)
- $\log g = 2.0 \pm 0.1$ (не-ЛТР анализ Fe I/Fe II)
- $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.60 \pm 0.14$
- $\xi_t = 2 \text{ км/с}$

Химический состав

◆ Избыток C, N, O

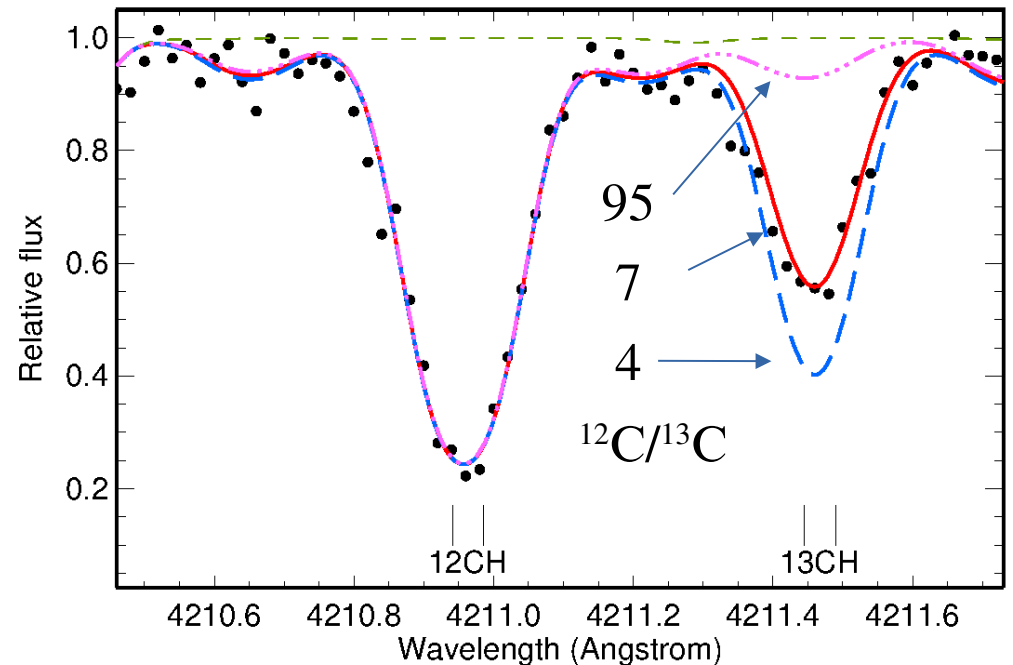
$$[\text{C}/\text{Fe}] = 1.77 \quad (\text{C}_2 \text{ 5150-5170 } \text{\AA})$$

$$[\text{N}/\text{Fe}] = 1.29 \quad (\text{CN } 4214\text{-}4216 \text{\AA})$$

$$[\text{O}/\text{Fe}] = 1.32 \quad ([\text{O I}] \text{ 6300 } \text{\AA})$$

◆ $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 7$ — большая доля изотопа ^{13}C .

Индикатор нуклеосинтеза в AGB.



◆ Na-Zn типичны для звёзд той же металличности:

α -элементы (Mg, Si, Ca, Ti):

$$[\alpha/\text{Fe}] \sim 0.4$$

◆ Избыток тяжёлых эл-тов

- Ba-Yb: $[\text{X}/\text{Fe}] \sim 1$

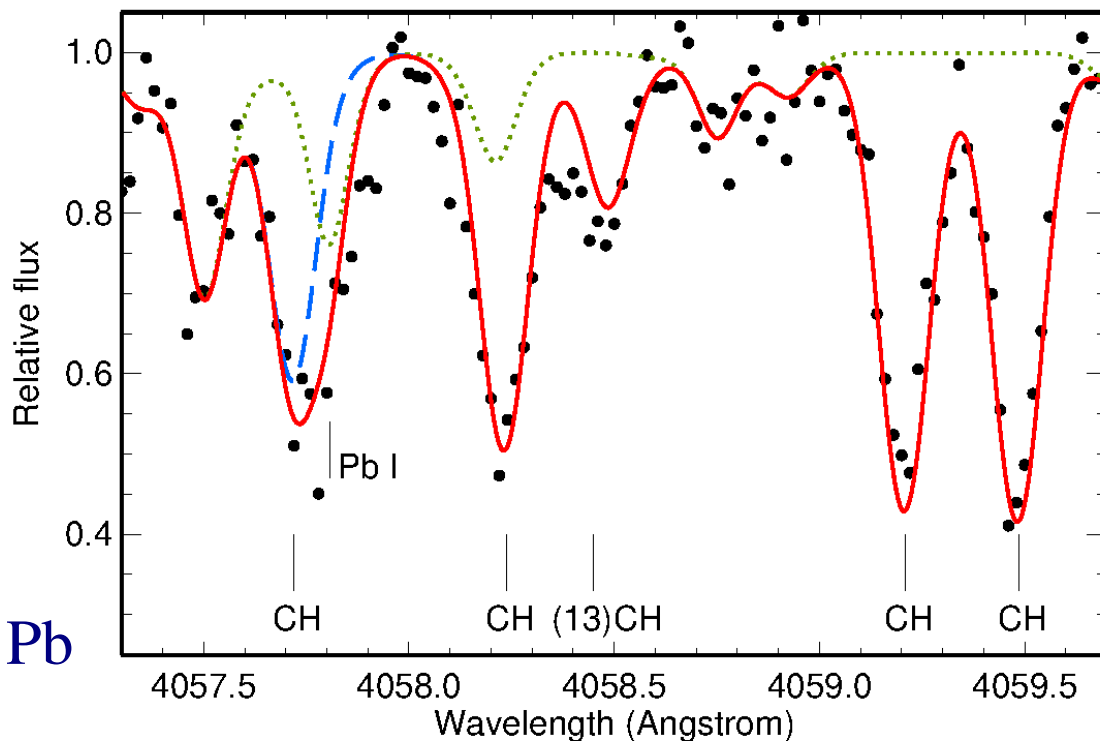
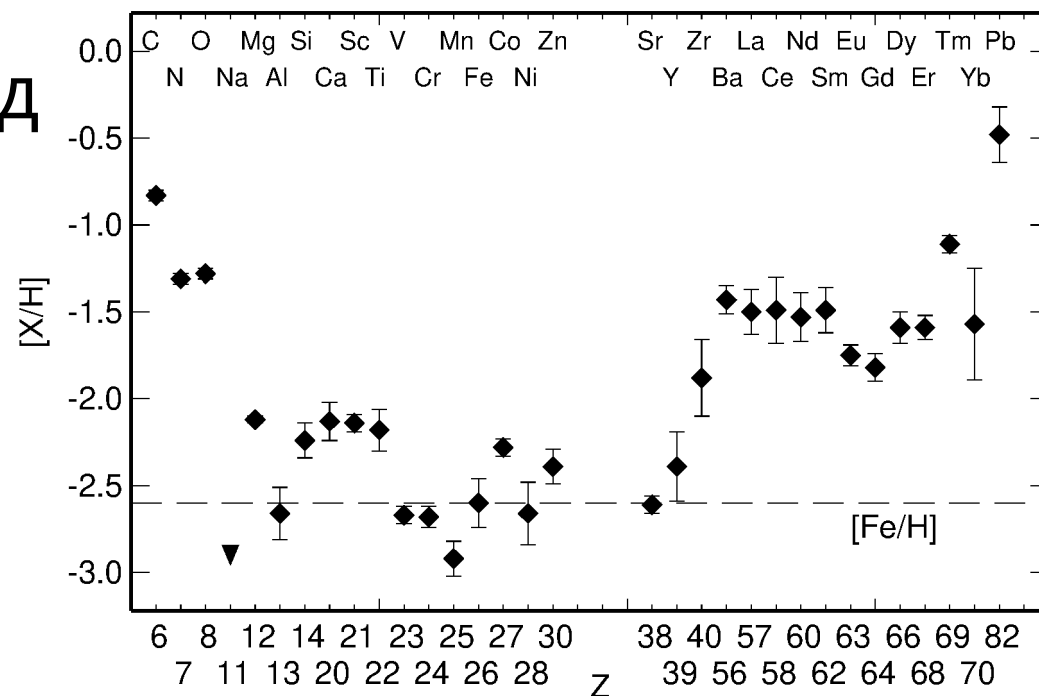
- $[\text{Pb}/\text{Fe}] = 2.12$

$[\text{C}/\text{Fe}] = 1.77$

$[\text{Ba}/\text{Eu}] = 0.32$

CEMP-r/s

Определение содержания Рв



Как сформировался химический состав Pr184237?

Предположим: двойная =

Pr184237 ($0.8M_{\odot}$) + звезда ($\approx 1M_{\odot} \rightarrow$ AGB).

★ $1M_{\odot}$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -3$: время жизни = 6.3 Gyr (*Choplin+ 2022*)

Нуклеосинтез в AGB

I. C, N + s-процесс (*Lugaro+ 2012*):

Не объясняет $[\text{Ba}/\text{Sr}] > 1$ и большую долю ^{13}C .

II. C, N + i (intermediate)-процесс

Cowan, Rose (1977): синтез тяжёлых ядер

при $N_n \sim 10^{11} - 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

Choplin+ 2022, расчёты звёздной эволюции до AGB:

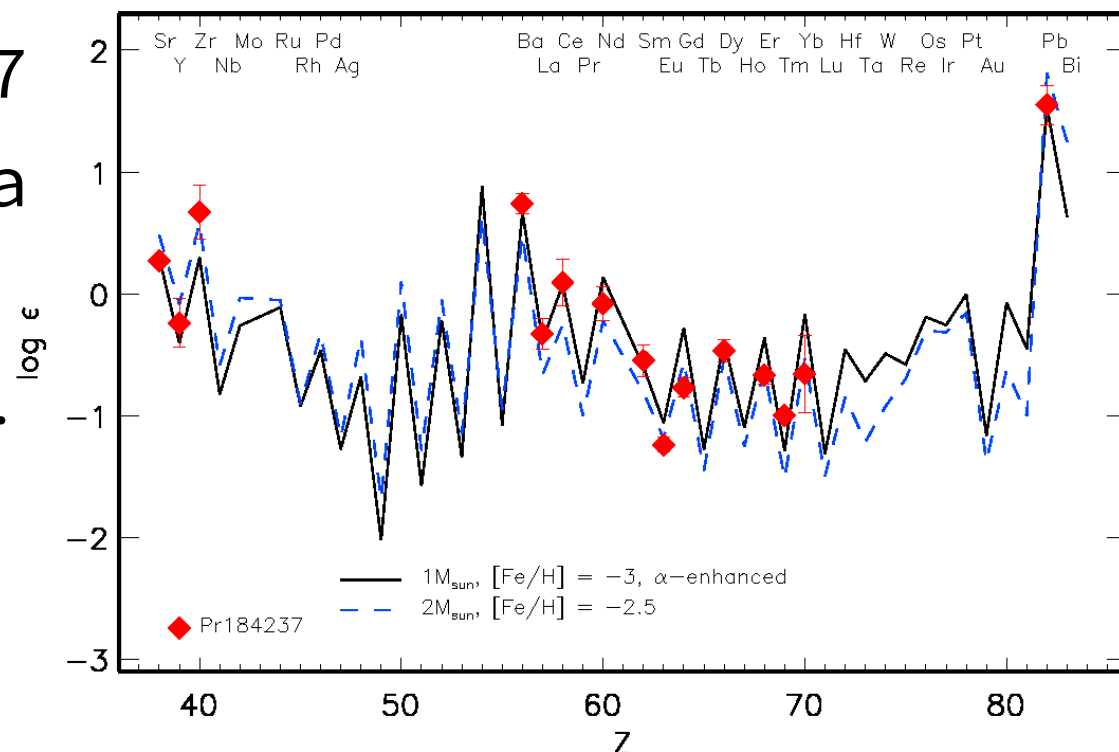
Proton Ingestion Events (PIEs) и *i*-процесс имеют место в моделях с $M_0 = 1$ и $2 M_\odot$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -3.0$ и -2.5 .

Наблюдения Pr184237

и модели *i*-процесса

$M_0 / [\text{Fe}/\text{H}] = 1M_\odot / -3.0$

и $2M_\odot / -2.5$.



Предсказанные

$[\text{C}/\text{Fe}] = 1.42$, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 4.3$ близки к наблюдаемым.

Выводы

- ★ Pr184237 - *первая* звезда CEMP-r/s во внутренней Галактике.
- ★ *i*-процесс в AGB воспроизводит распространённость элементов у звезды CEMP-r/s.
- ★ Явление CEMP-r/s связано с *двойными* или кратными системами.