

恒星中重元素丰度

施建荣

国家天文台



大 纲

- 引言
- 丰度的确定
- 恒星中重元素丰度
- 讨论



引言

重元素研究的重要性

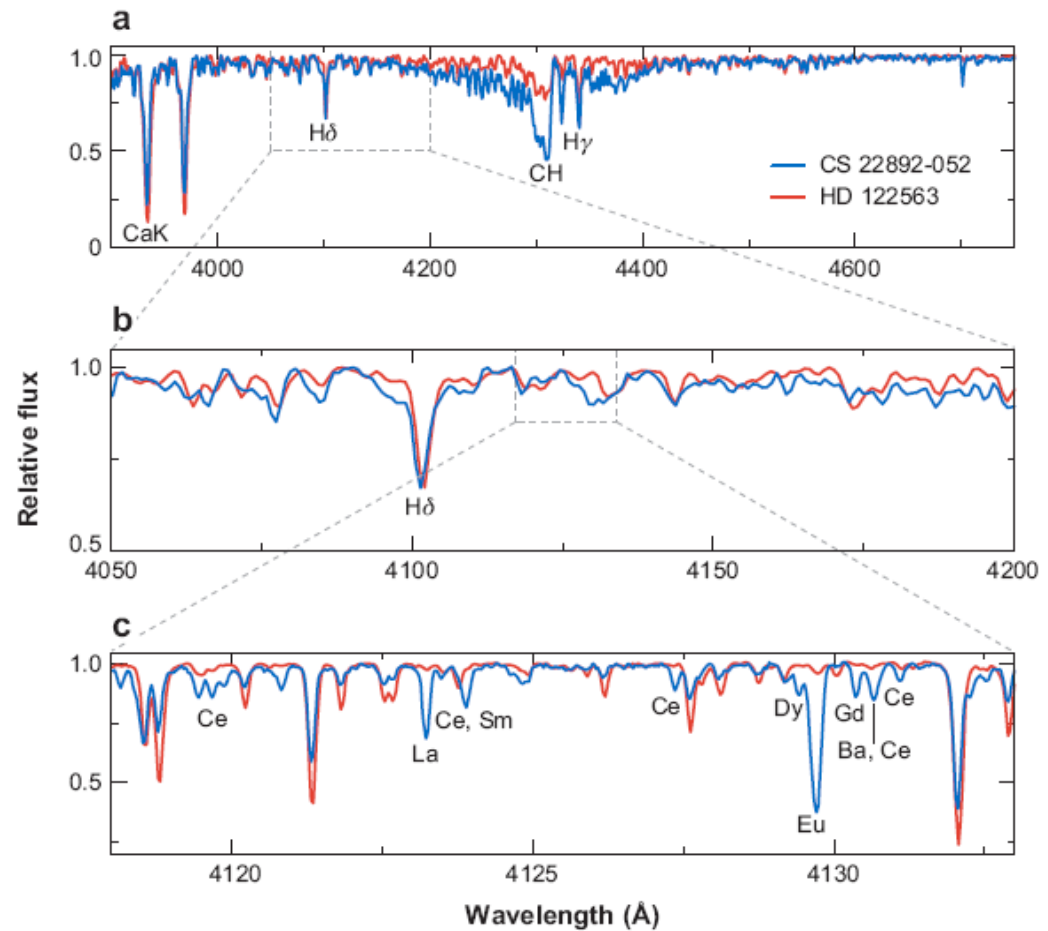
- 一般认为 $Z > 30$ 的元素为中子俘获元素 (54个稳定 $\tau_{1/2} > 10^6\text{yrs}$) , 而轻元素只有30个。这些元素总计含量只占太阳物质中数密度约6%, 但它们有明显的吸收线, 因此可以在一个大的金属丰度范围内探测到。
- 目前, 我们可以详细研究银河系极端贫金属场星的中子俘获元素的丰度分布, 也有球状星团和河外系统这些元素的信息。

提供银河系早期这些元素如何产生
银河系早期的核合成, 并鉴定第一代恒星

丰度确定 (一)

富r过程元素恒星
CS 22892-052 (蓝
线) 与缺少中子俘
获元素恒星HD
122563的光谱比
较。

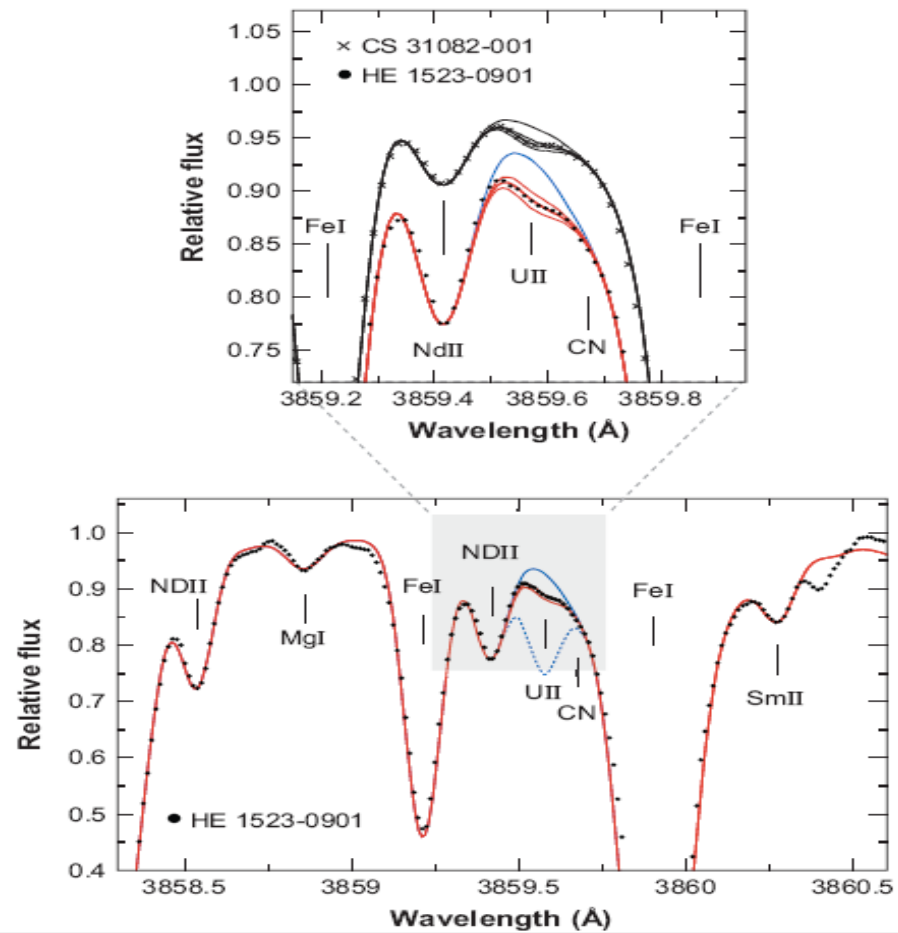
高分辨率和高
信噪比光谱的
必要性



丰度确定 (二)

由于很多元素的谱线很弱，所以精确确定这些元素的丰度是很困难的，另外很多元素受非局部热动平衡效应的影响。

样本一致性很重要



丰度确定 (三)

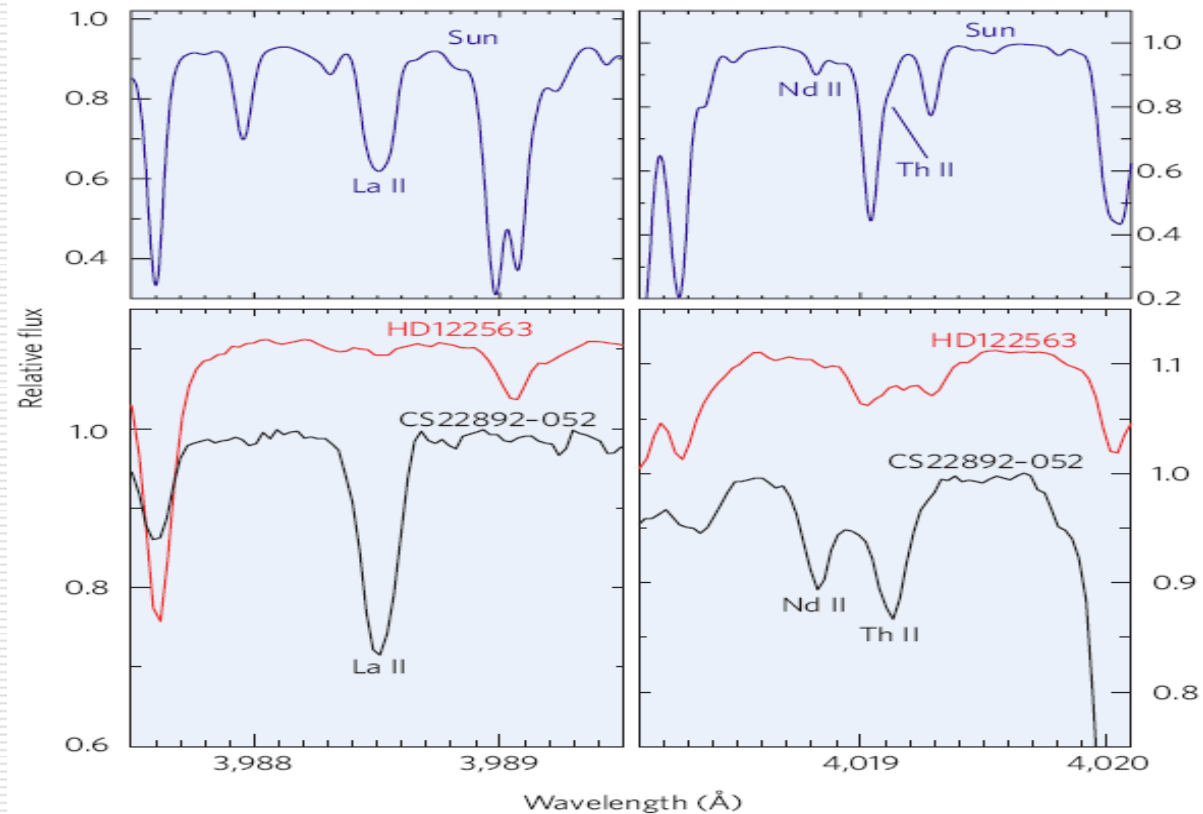
太阳、一般
贫金属恒星
及富中子恒
星的光谱

CS22892-052

$T_{\text{eff}} = 4760 \text{ K}$

$[\text{Fe}/\text{H}] = -3.1$

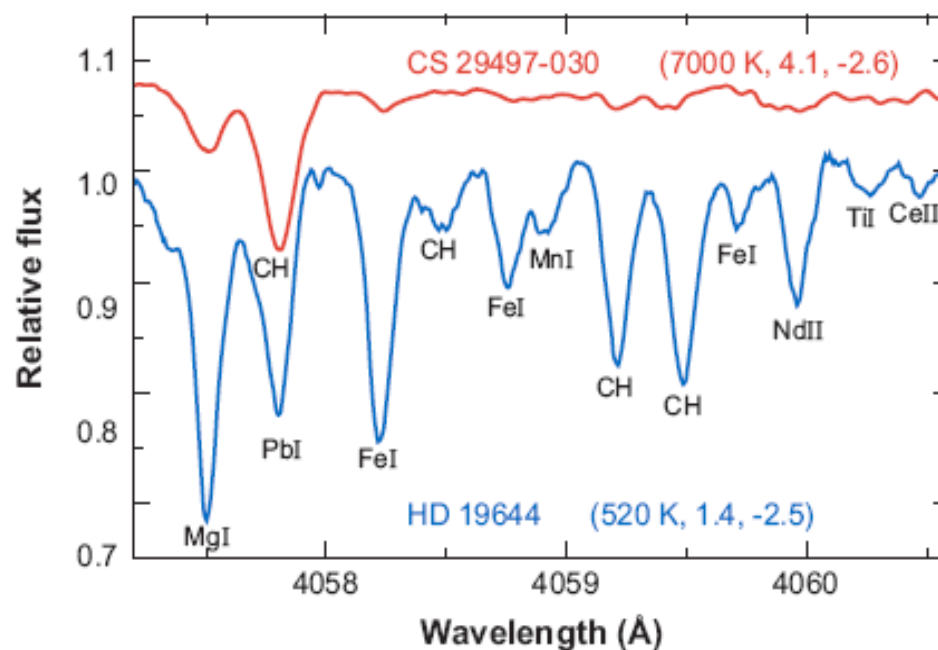
$\log g = 1.4$



丰度确定 (四)

利用观测光谱，
结合恒星大气模
型和原子参数确
定各种元素在恒
星中的丰度（含
量）

丰C和S过程元素
恒星



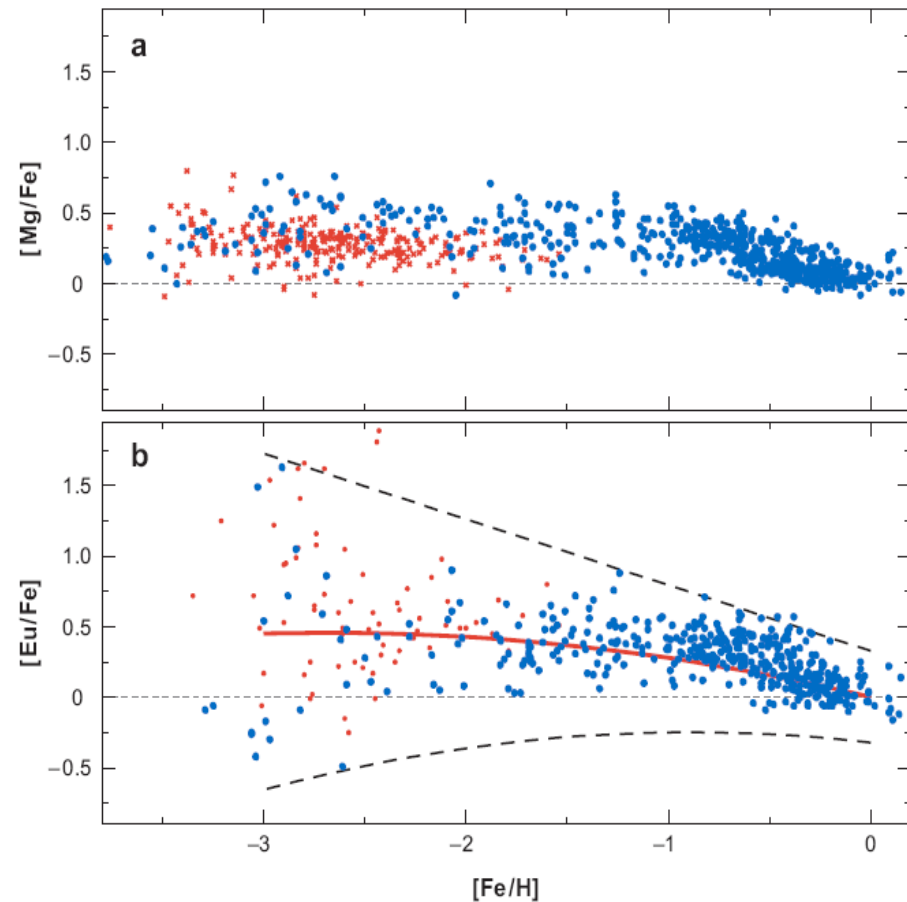
恒星中重元素丰度（一）

反映元素随银河系演化趋势

$[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 和 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ 随金属丰度 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的变化趋势，可以确定r-和s-过程元素的产地

$[\text{Eu}/\text{Fe}]$ 有明显的弥散

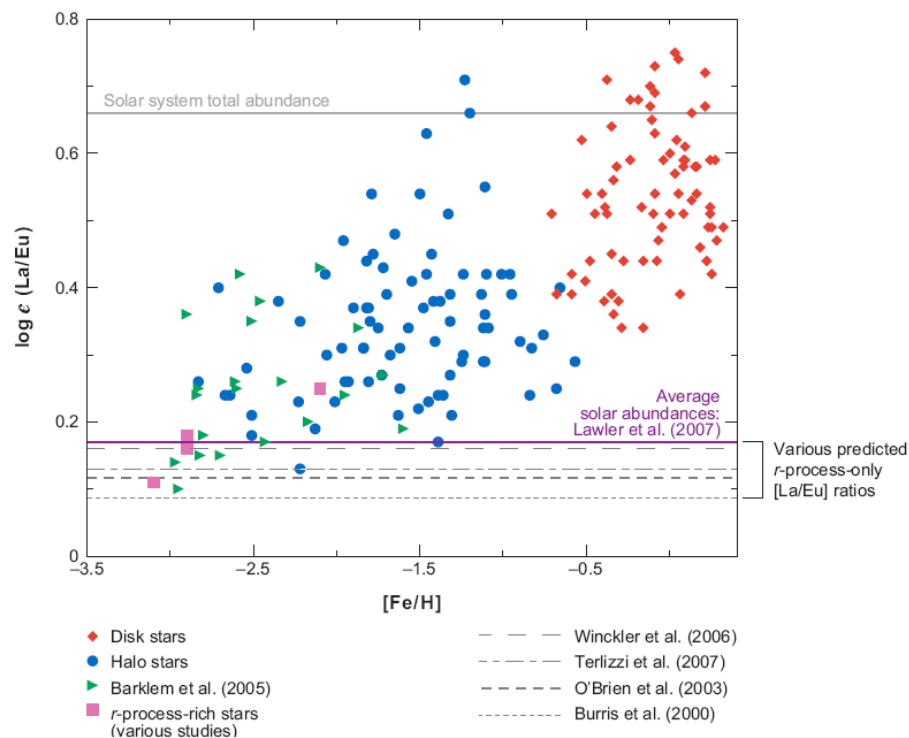
可能早期混合是不均匀的，同时早期r-过程元素的形成是罕见的，只有少数恒星能形成Eu等



恒星中重元素丰度 (二)

$[\text{La}/\text{Eu}]$ 随金属丰度的变化。
横线表示不同模型预言的
纯 r 过程比例；粉色的点表示
富 r 过程元素恒星

$[\text{La}/\text{Eu}]$ 随金属丰度增加而
增加，表明 $[\text{Fe}/\text{H}] > -2$ 时，
明显有 s 过程元素的贡献



双星或其他过程恒星的贡献

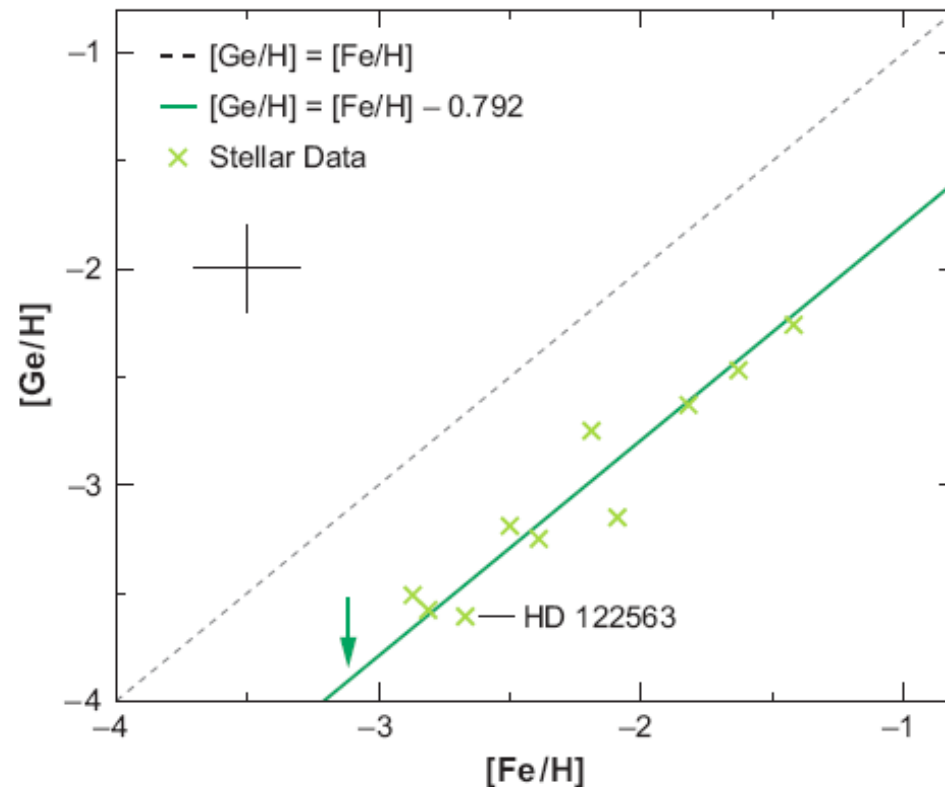
精确确定金属丰度和年龄，可确定何种质量恒星产生 s 过程

结果三 (Ge的起源)

11颗晕星的[Ge/H]
随金属丰度的变
化。

虚线表示[Ge/H]
= [Fe/H]

实线是拟合结果
Cowan et al. 2005



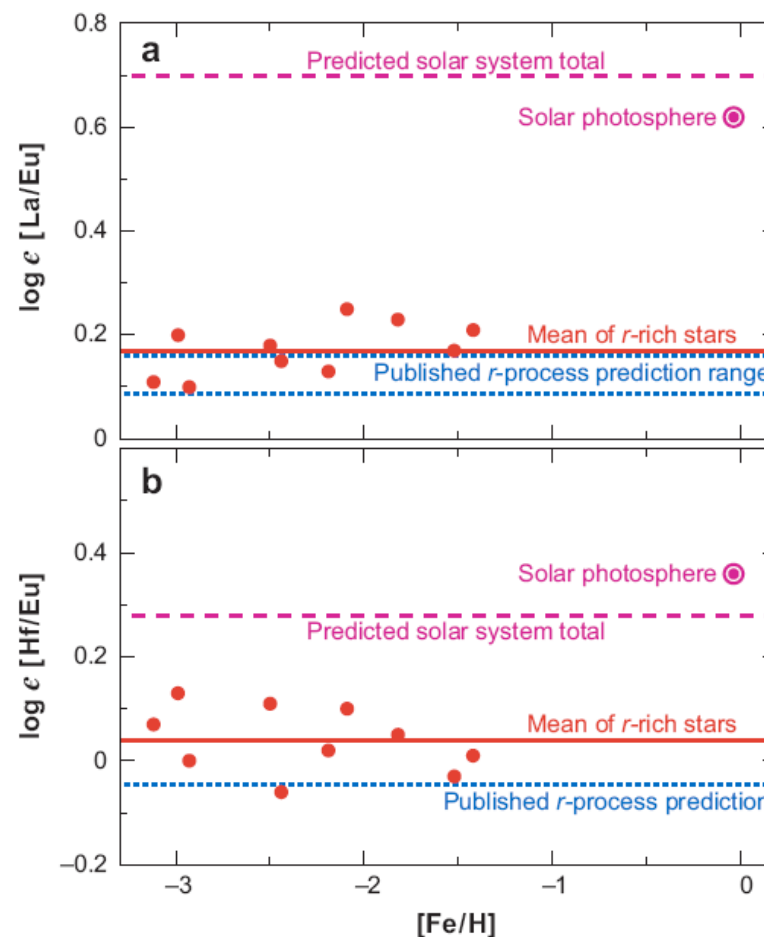
对贫金属恒星：Ge和Fe应该同时产生的

恒星中重金属元素丰度（四）

元素丰度比随金属丰度变化：研究不同元素的起源

10颗富 r 过程恒星的
[La/Eu] (a) 和 [Hf/Eu] (b)
随[Fe/H]的变化，红线
表示平均值。

[Hf/Eu]明显要比太阳中的
预言值高，表明在太
阳中Hf元素有其他大的 r
过程的贡献。

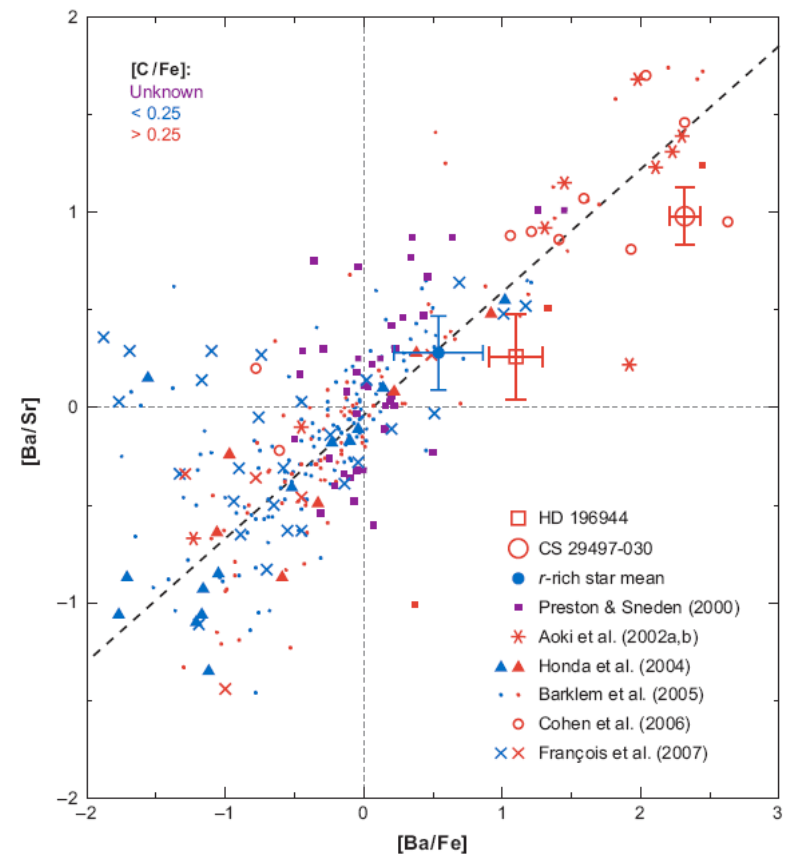


恒星中重金属元素丰度 (五)

贫金属恒星中[Ba/Sr] 随 [Ba/Fe]的变化, 富Pb星 HD 196944 and CS 29497-030。

16颗富 r 过程元素恒星 ([Eu/Fe] > 0.80) 的平均 [Ba/Sr]和[Ba/Fe]值用蓝点表示, 以及误差。

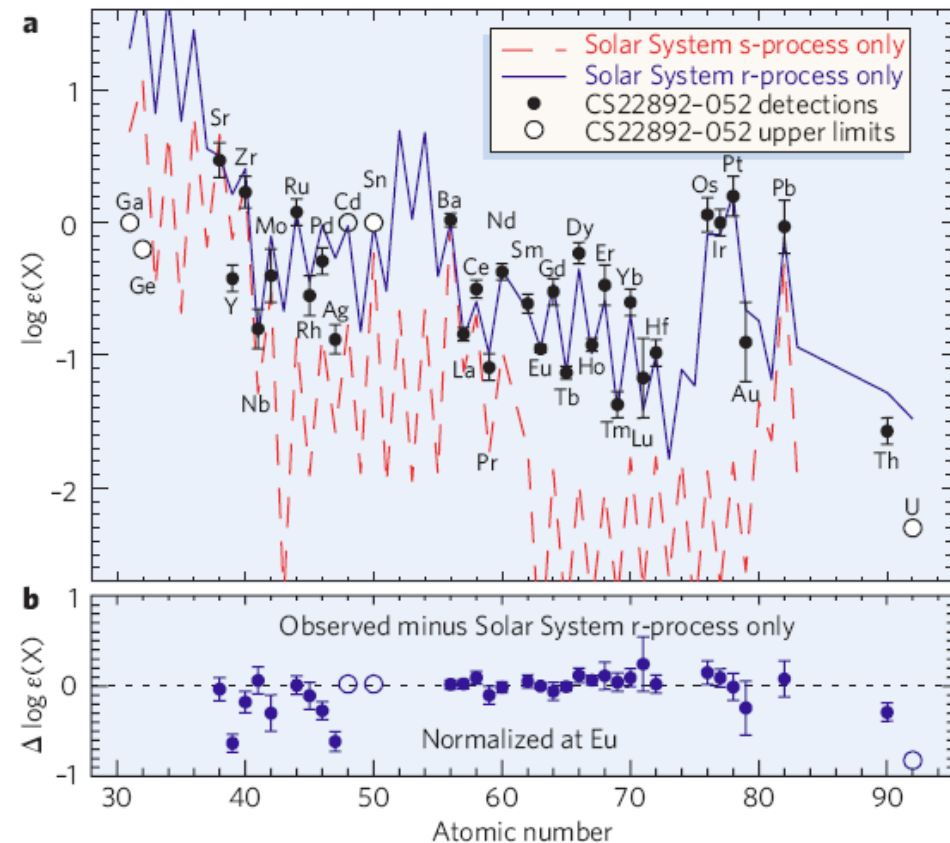
[Ba/Sr]随[Ba/Fe]的增加而增加, 这表明增加是由于Ba元素的产生增多。



恒星中重元素丰度（六）

在一颗恒星中观测到的各种n俘获过程元素与预言值的比较

可以确定各种元素的r和s过程起源

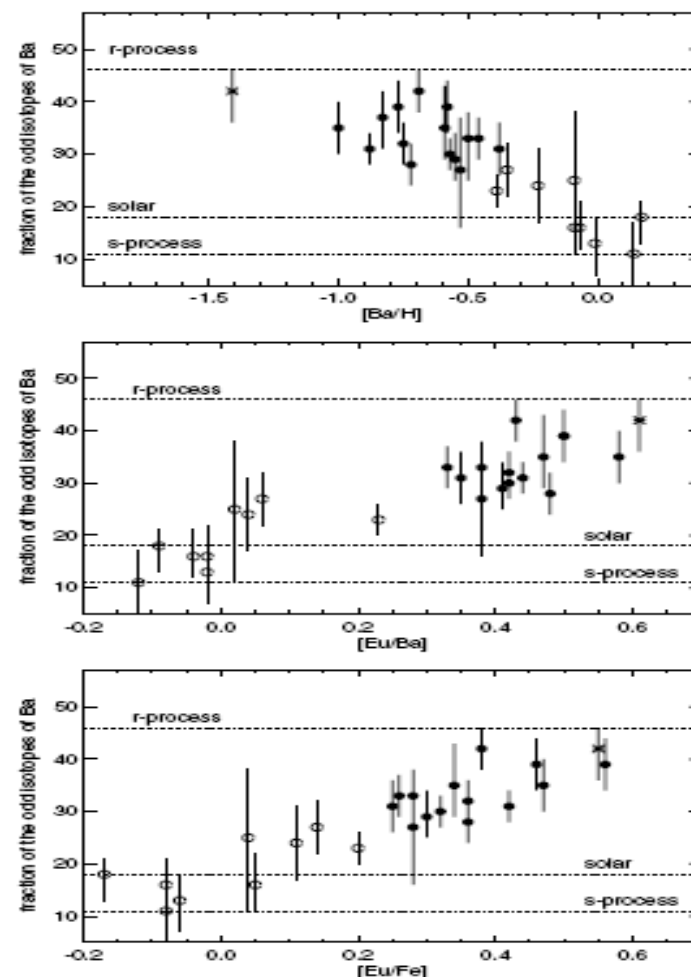


恒星中重元素丰度（七）

奇Ba元素的比例随 $[\text{Ba}/\text{H}]$ 的降低而增加，表明对厚盘恒星而言，Ba的r过程贡献要比太阳中的多；

由于 $[\text{Eu}/\text{Ba}]$ 和奇Ba元素的比例都敏感于r过程的贡献，因此从图中可以看出来；

理论预言：早期是没有偶Ba产生的，但观测表明，在厚盘恒星中有67%的偶Ba元素。

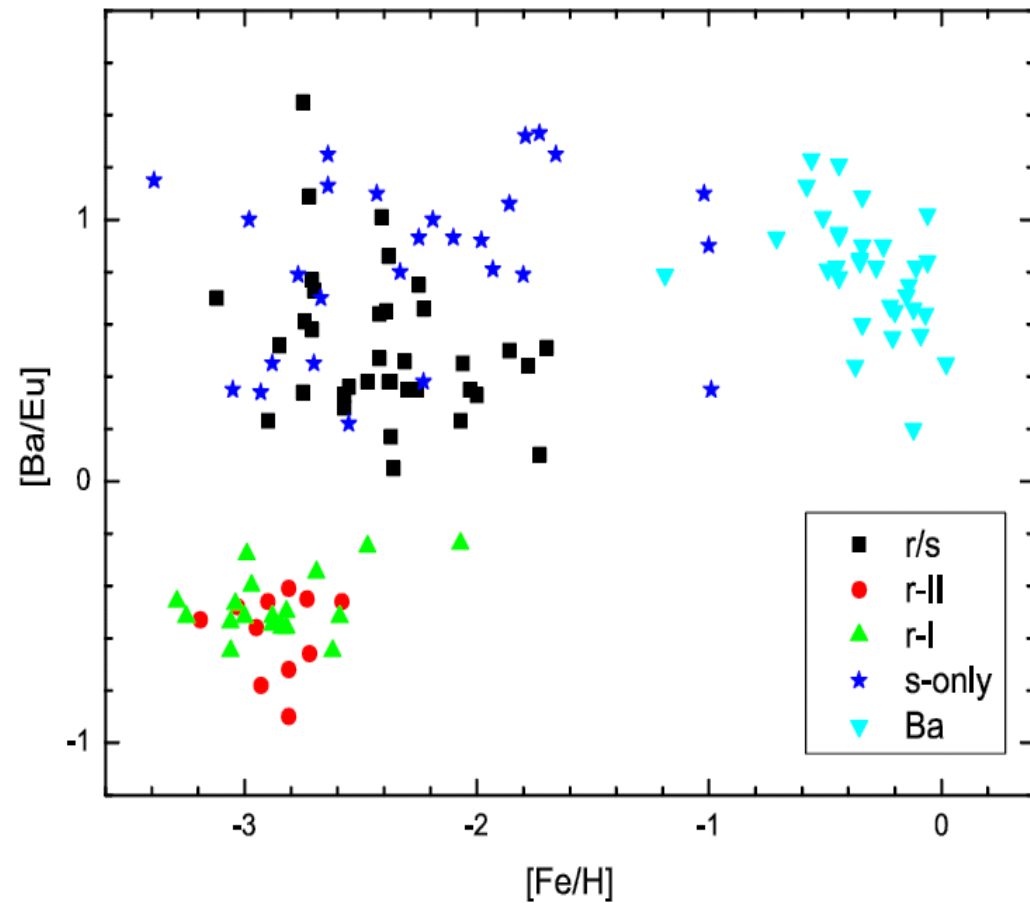


恒星中重元素丰度 (八)

[Ba/Eu]随金属丰度的变化趋势。

同一类型的恒星有比较一致的

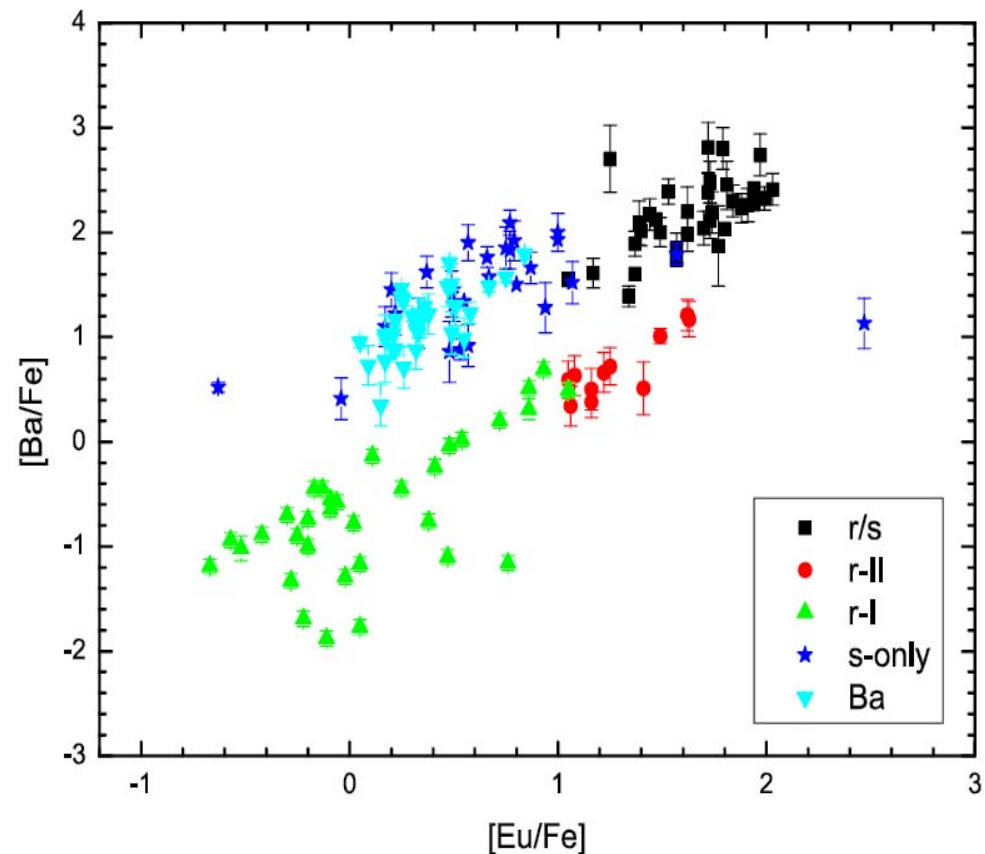
[Ba/Eu]



恒星中重元素丰度（八）

不同类型恒星中的 $[\text{Ba}/\text{Fe}]$ 与 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ 有很好的相关性，说明它们有相同的起源。

Eu一般认为是r过程元素，而**Ba**是s过程元素，如何解释？。

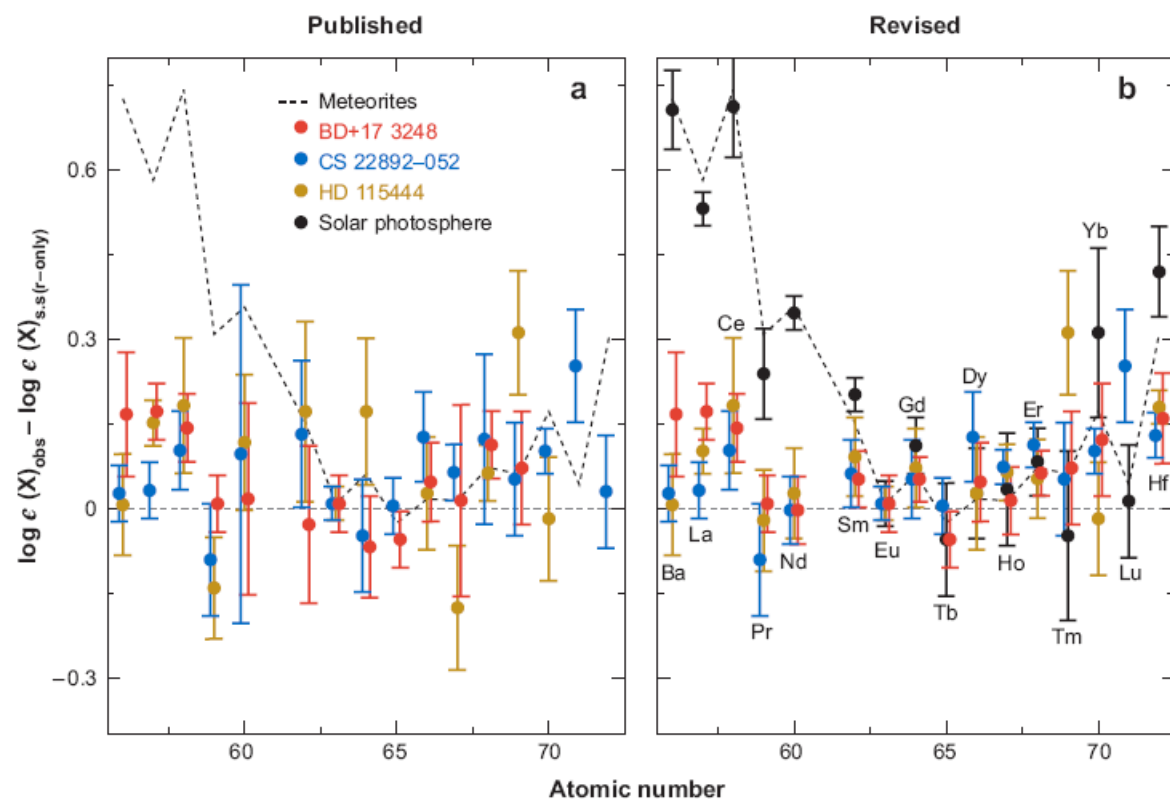


注意（丰度依赖于原子参数）

左、右图的差别：

右图采用了新的实验室测量的 $\log gf$ 值得到的结果，后者弥散明显变小。

研究表明恒星中轻中子俘获元素的弥散较大，没有明确的解释。



讨 论

Eu和Ba元素的起源：

由于Eu和Ba分别是典型的r和s过程元素，但它们之间有非常好的相关性，说明它们有相同的起源，如何解释？

谢谢!



讨论

TABLE 2 Definition of subclasses of metal-poor stars

Neutron-capture-rich stars

r-I	$0.3 \leq [\text{Eu}/\text{Fe}] \leq +1.0$ and $[\text{Ba}/\text{Eu}] < 0$
r-II	$[\text{Eu}/\text{Fe}] > +1.0$ and $[\text{Ba}/\text{Eu}] < 0$
s	$[\text{Ba}/\text{Fe}] > +1.0$ and $[\text{Ba}/\text{Eu}] > +0.5$
r/s	$0.0 < [\text{Ba}/\text{Eu}] < +0.5$

Carbon-enhanced metal-poor stars

CEMP	$[\text{C}/\text{Fe}] > +1.0$
CEMP-r	$[\text{C}/\text{Fe}] > +1.0$ and $[\text{Eu}/\text{Fe}] > +1.0$
CEMP-s	$[\text{C}/\text{Fe}] > +1.0$, $[\text{Ba}/\text{Fe}] > +1.0$, and $[\text{Ba}/\text{Eu}] > +0.5$
CEMP-r/s	$[\text{C}/\text{Fe}] > +1.0$ and $0.0 < [\text{Ba}/\text{Eu}] < +0.5$
CEMP-no	$[\text{C}/\text{Fe}] > +1.0$ and $[\text{Ba}/\text{Fe}] < 0$

r和s过程元素在不同的恒星中的比例是不同的，要区分

恒星中重元素丰度（七）

Ba同位素含量的确定

不同比率下的拟合情况

要求很高的分辨率

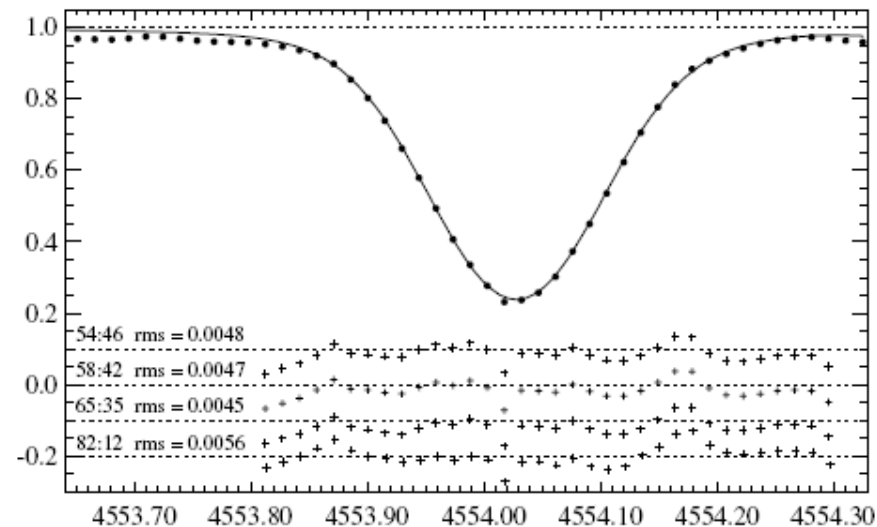


Fig. 5. Synthetic NLTE flux profile corresponding to $\log \varepsilon_{\text{Ba}} = 1.52$ and Ba even-to-odd isotope ratio 58:42 (continuous line) compared to the observed profile (bold dots) of the Ba II resonance line in HD 10519. $\log \varepsilon_{\text{Ba}} = 1.51$ for the isotope ratio 54:46, $\log \varepsilon_{\text{Ba}} = 1.54$ for 65:35, and $\log \varepsilon_{\text{Ba}} = 1.64$ for 82:18. The (O-C) values multiplied by a factor of 5 are shown for various isotope mixtures in the lower part of the figure. See text for more details.