

$^{93}\text{Zr}(n, \gamma)^{94}\text{Zr}$ 天体物理反应 率的实验研究

甘林

2014年10月 桂林



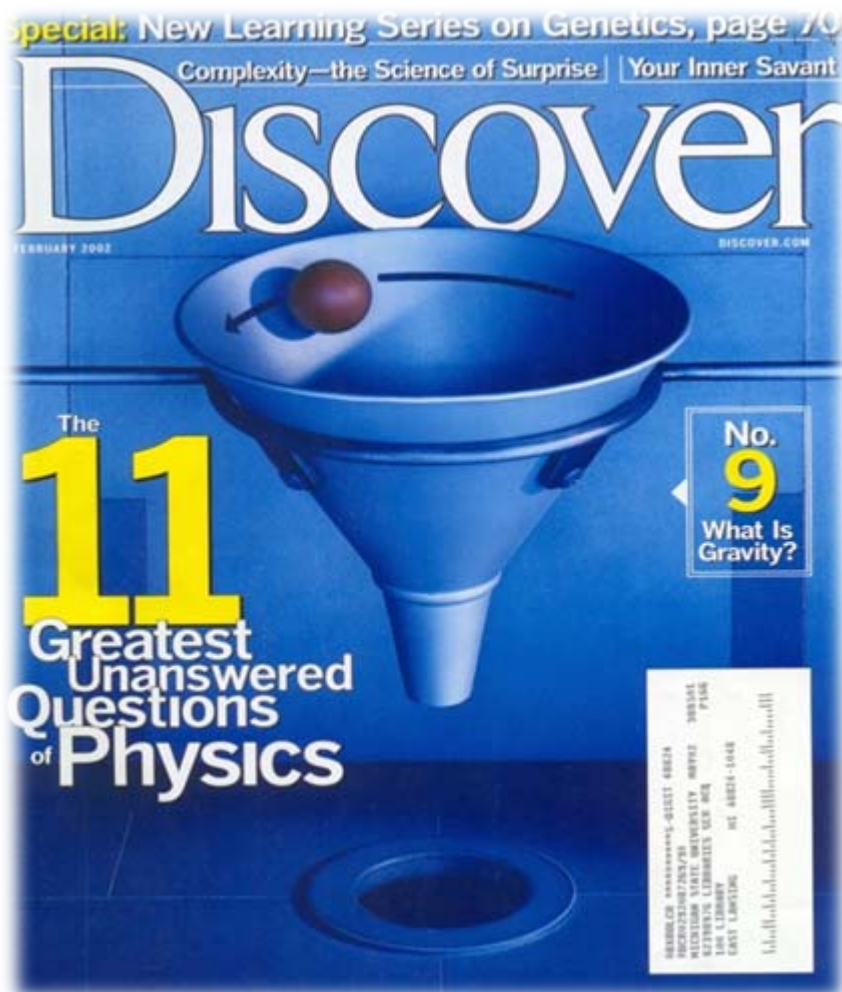
内容

- 背景
- 实验测量
- 数据分析
- 小结

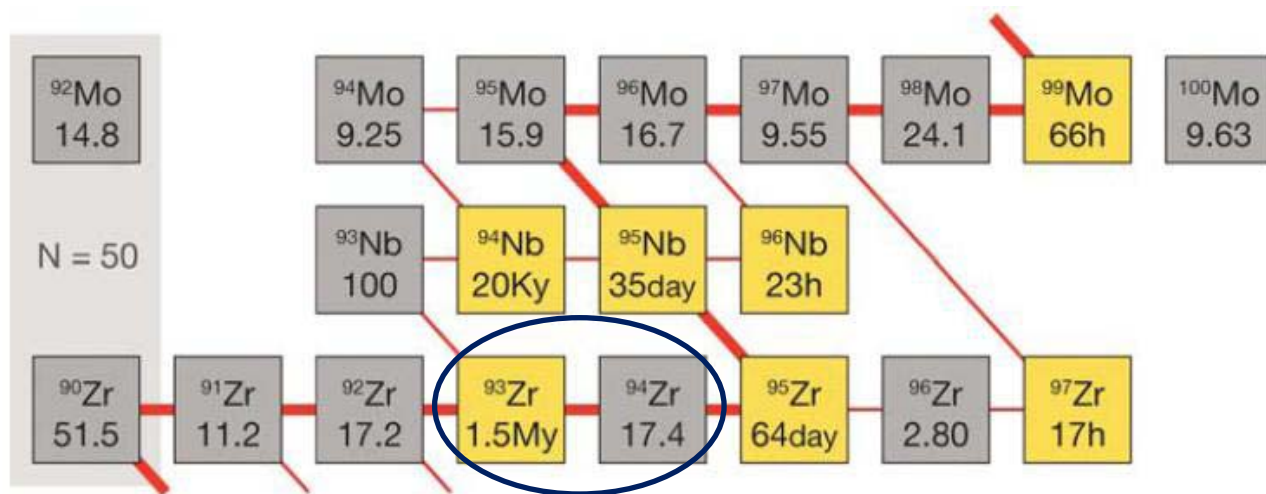
背景

重元素产生问题是核天体物理领域的重要课题，被美国国家研究理事会选为上世纪“物理学的11个未解之谜”之一。

s过程产生了宇宙中大约50%的重元素，是解开重元素核合成之谜的关键。



Zr同位素是s过程核合成路径上的重要核素，可用于研究s过程中的中子数密度等重要参数。

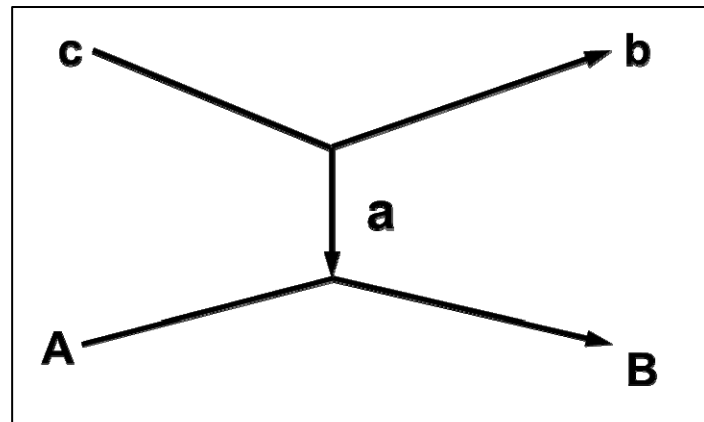


⁹³Zr ($t_{1/2}=1.5 \times 10^6$ y) 几乎全部来自s过程，并通过s过程消灭。因此，其丰度可用于检验恒星中其他同位素是否是纯s过程的产物。

● 研究方法:

核谱因子法:

$A + c \rightarrow B + b$ 反应角分布



DWBA分析



$$\sigma = \sum_{j_B j_c} S_{Aa l_B j_B} S_{abl_c j_c} \sigma_{l_B j_B l_c j_c}^{DWBA}$$

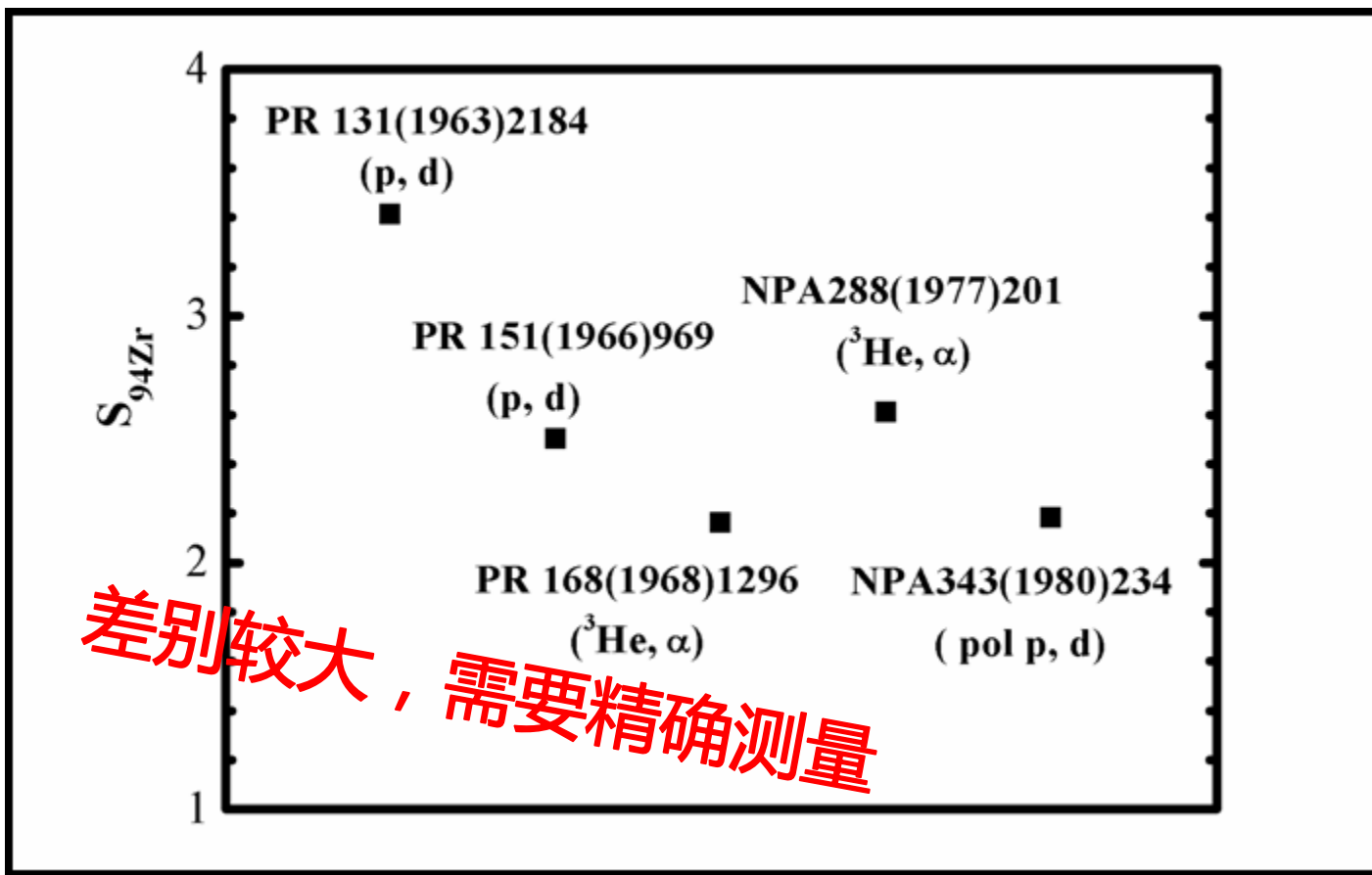
$B \rightarrow A + a$ 的谱因子



辐射俘获理论

$A(a, \gamma)B$ 天体物理激发函数和反应率

^{94}Zr 中子谱因子的研究现状



实验测量

本工作将采用 $^{94}\text{Zr}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{C})^{93}\text{Zr}$ 反应，其 0^+ 的 ^{12}C 变为自旋为 $1/2^-$ 的 ^{13}C ，只有 $1p_{1/2}$ 轨道对反应有贡献，**反应机制单一，提取核谱因子受到的干扰小。**

测量反应：

$^{12,13}\text{C} + ^{94}\text{Zr}$ 弹散（提取光学势）

$^{94}\text{Zr}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{C})^{93}\text{Zr}$ （提取谱因子）

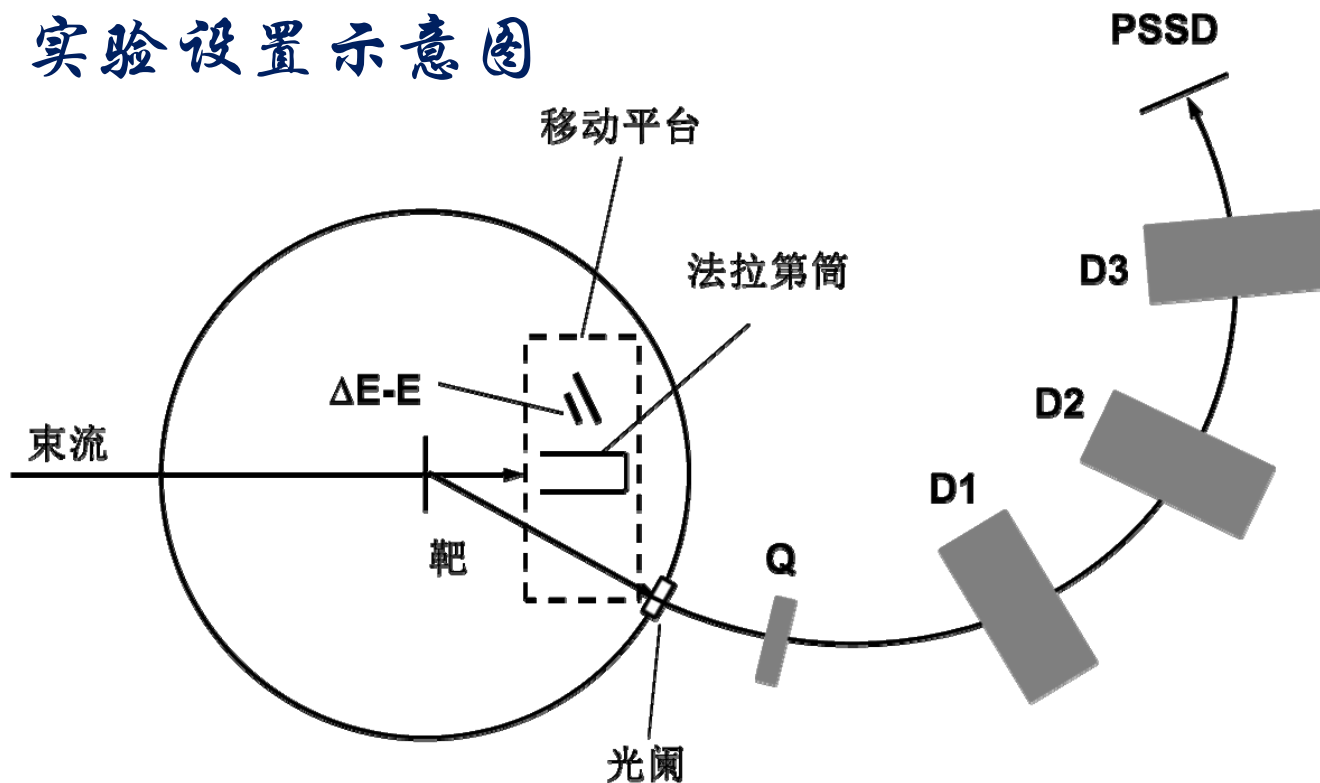
实验设置

束流: ^{12}C (66MeV)

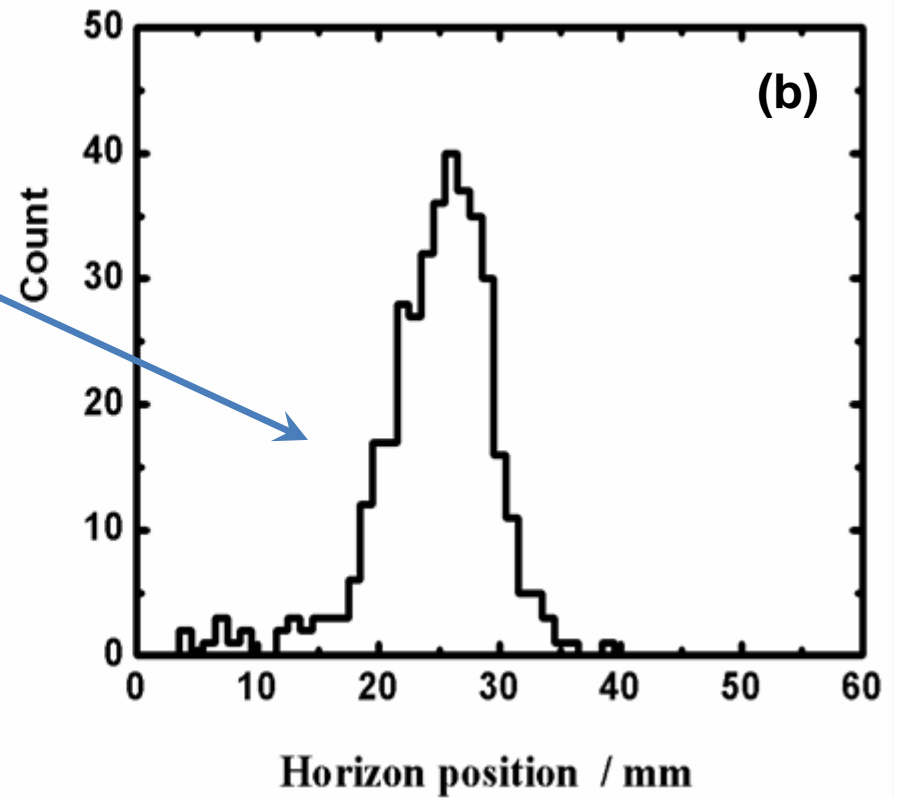
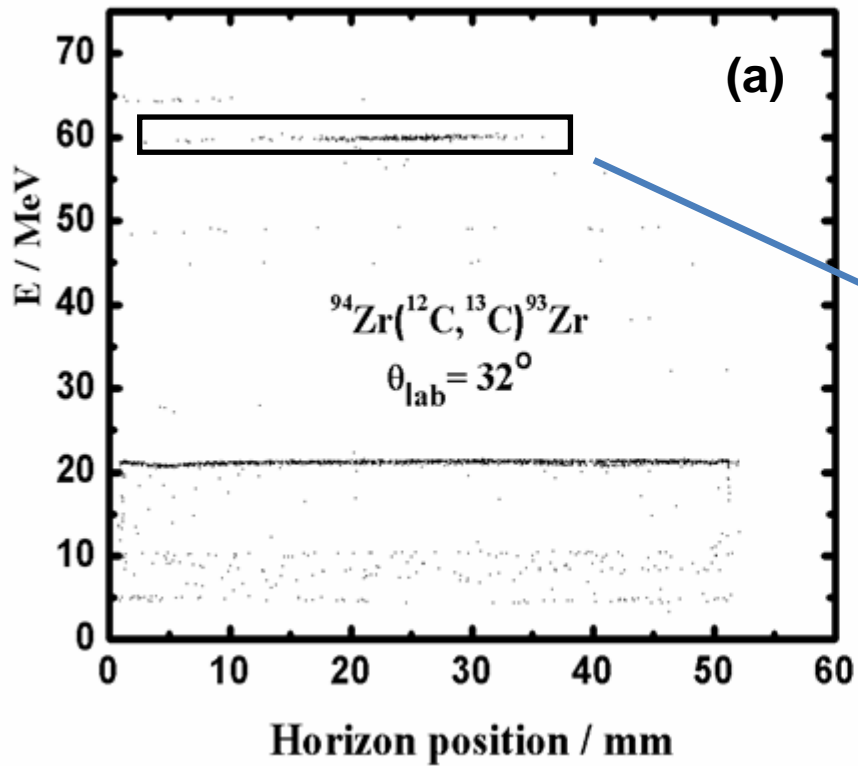
^{13}C (64MeV)

靶: 高富集同位素靶 $^{94}\text{ZrO}_2$ 靶衬: ^{12}C

实验设置示意图



● 离子鉴别



数据分析

- 光学势参数拟合:

工具: PTLOMY软件

弹性散射角分布拟合时, 光学势虚部的变化影响非常小。

固定Woods-Saxon势虚部

$W=35 \text{ MeV}$, $r_W=1.15 \text{ fm}$, $a_W=0.56 \text{ fm}$

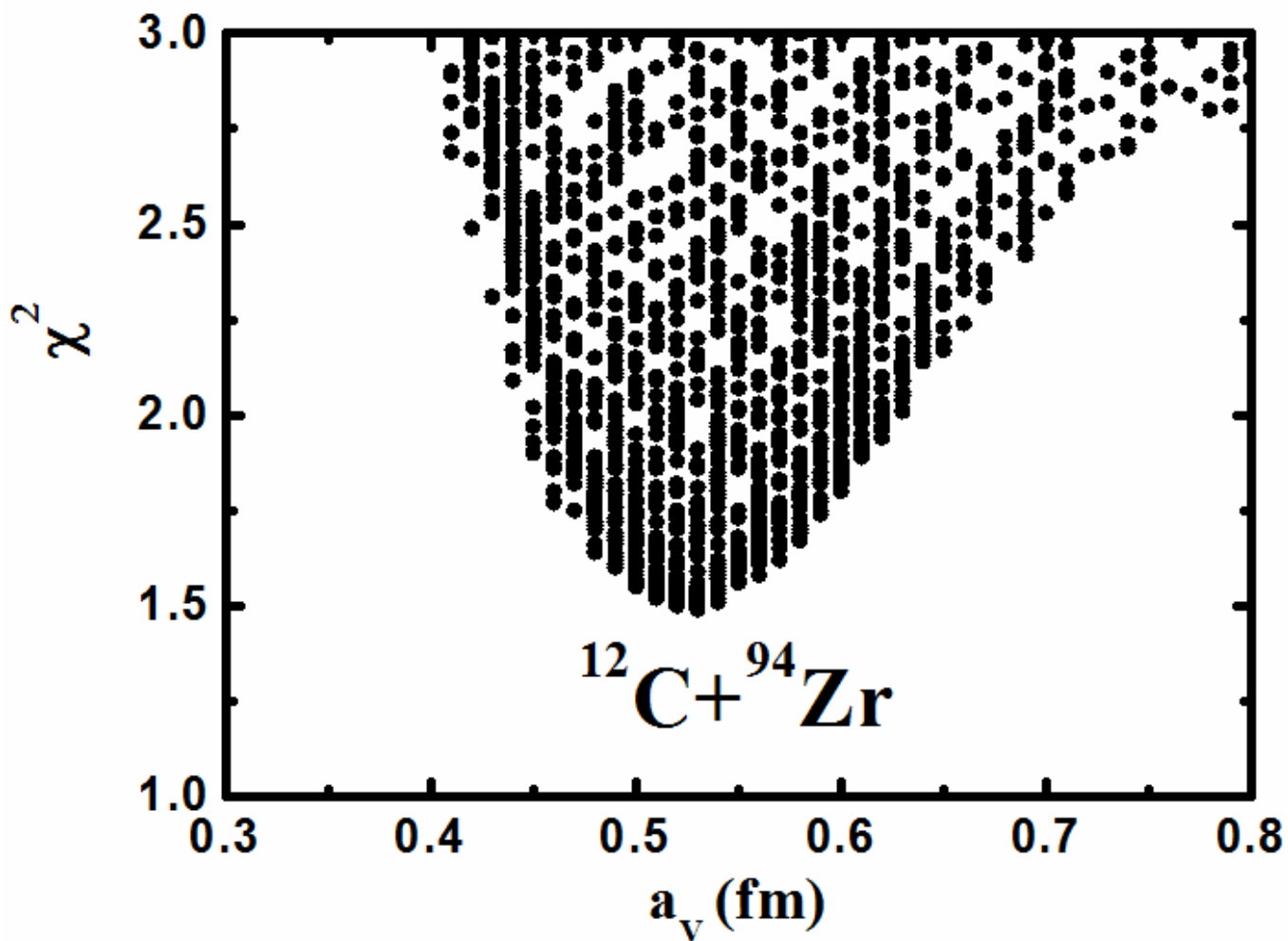
变化实部参数, 寻找最优光学势参数组合

$V=10-280 \text{ MeV}$, 步进 1 MeV

$r_V=1.0-1.5 \text{ fm}$ 、 $a_V=0.35-0.8 \text{ fm}$, 步进 0.01 fm

以 χ^2 判断拟合优劣

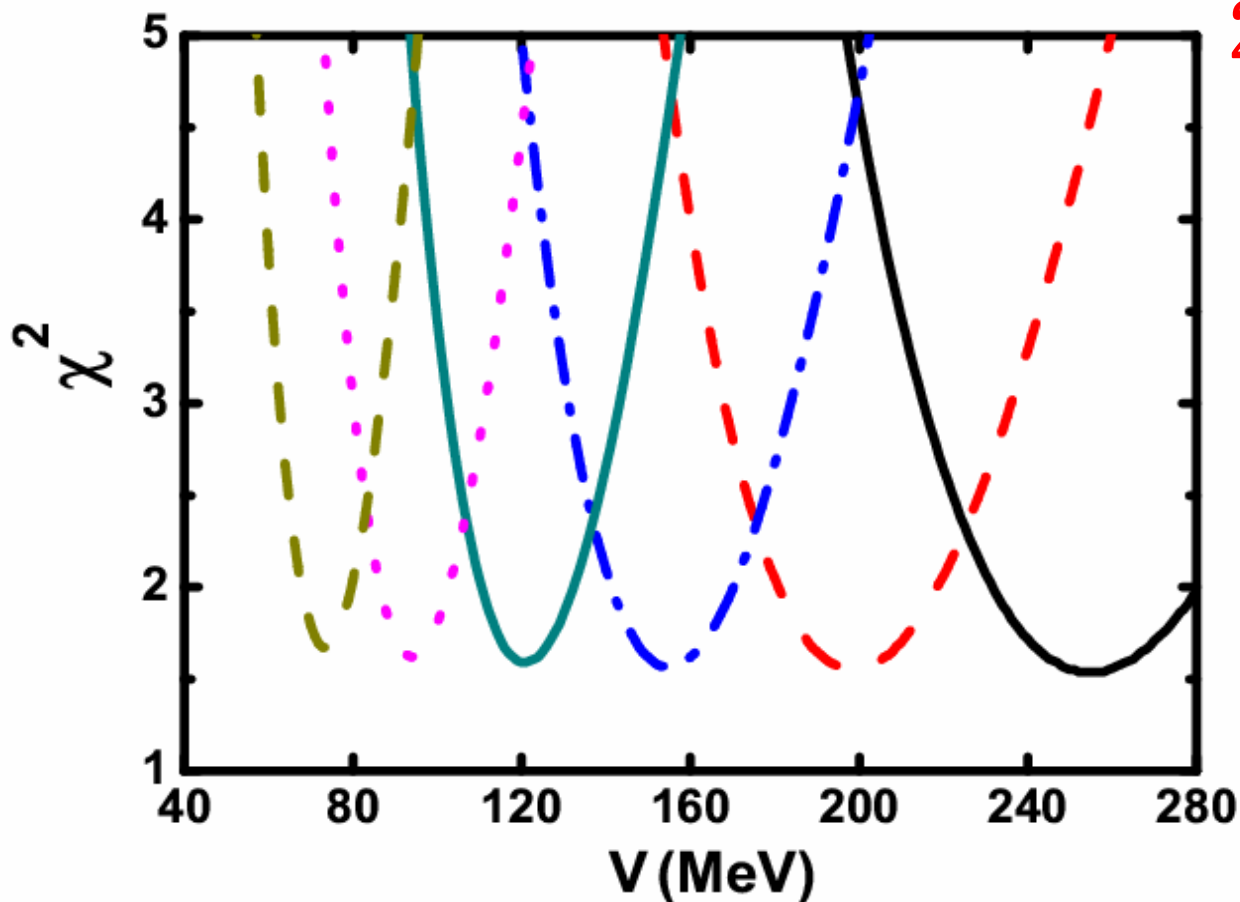
- $a_v=0.55$ fm 为最优值



- 固定 $a_v = 0.55 \text{ fm}$ ， χ^2 随 V 的变化趋势。每条曲线对应不同的 r_v 。

$$V \times \exp(R_v/a_v) = \text{const}$$

$$2.851 \times 10^8$$

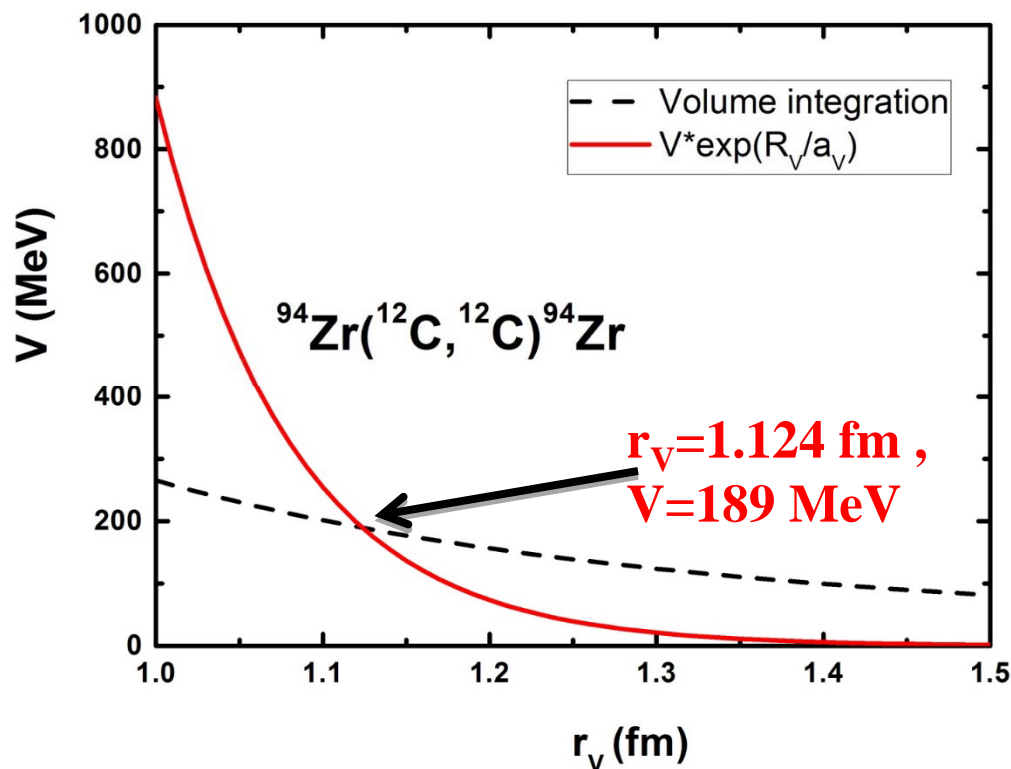


引入体积分

PHYSICAL REVIEW C 85, 044607 (2012)

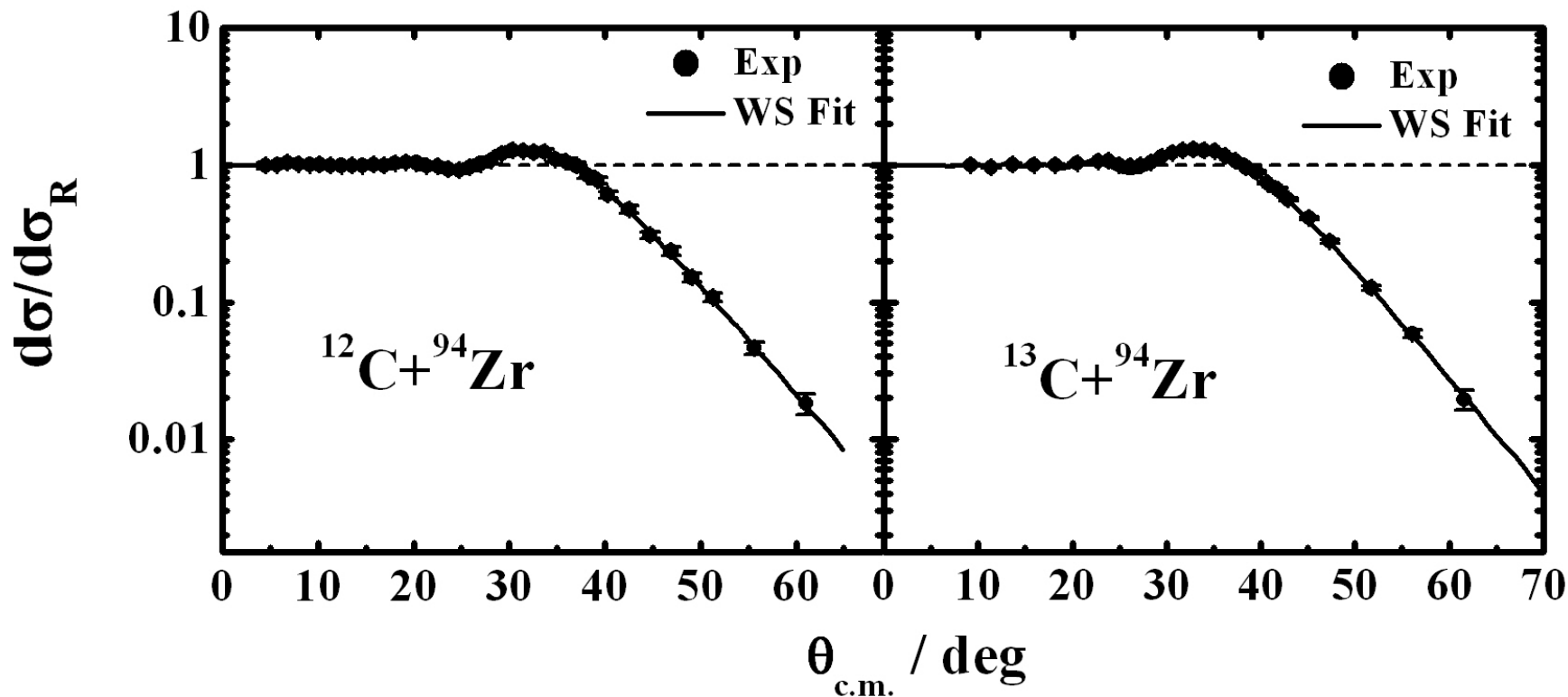
$$J_V = \frac{4\pi}{A_1 A_2} \int \frac{r^2 V}{1 + \exp[(r - r_v R_0) / a_v]} dr$$

$$J_V = 348.44 e^{-0.00739 E / A_1}$$



光学势参数拟合结果:

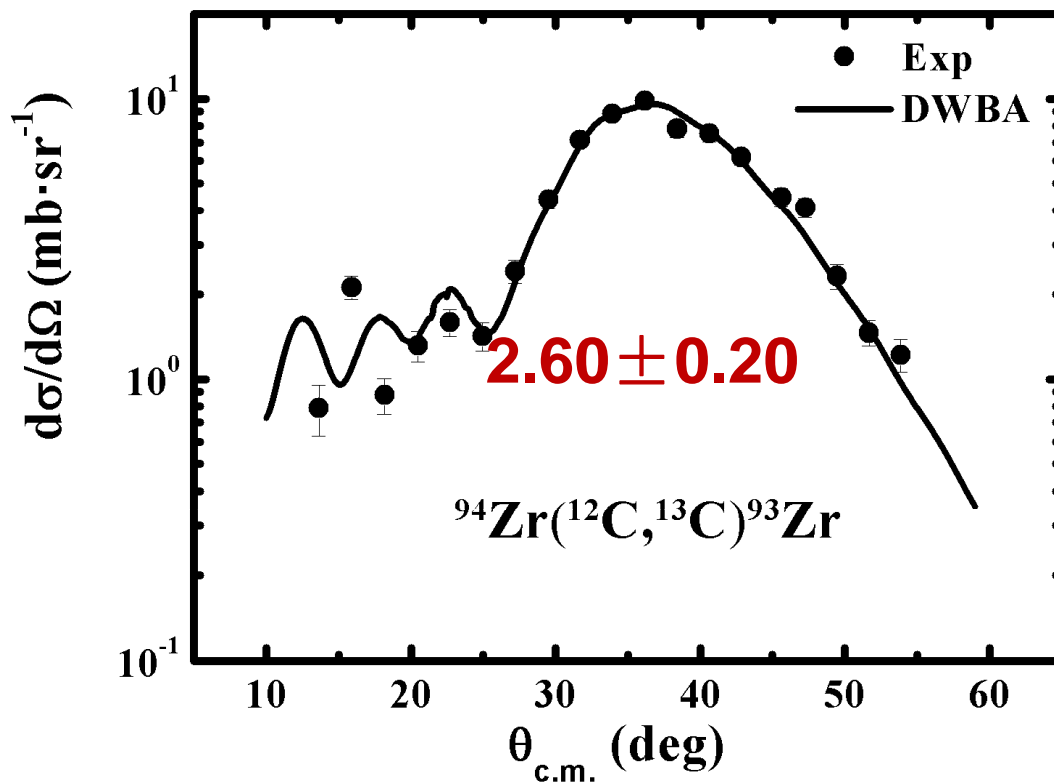
	$E_{\text{lab}}/\text{MeV}$	V/MeV	r_v/fm	a_v/fm	W/MeV	r_w/fm	a_w/fm	r_c/fm	χ^2/point
$^{12}\text{C} + ^{94}\text{Zr}$	66	189	1.124	0.55	35	1.15	0.56	1.00	1.67
$^{13}\text{C} + ^{94}\text{Zr}$	64	197	1.131	0.55	35	1.15	0.56	1.00	1.45



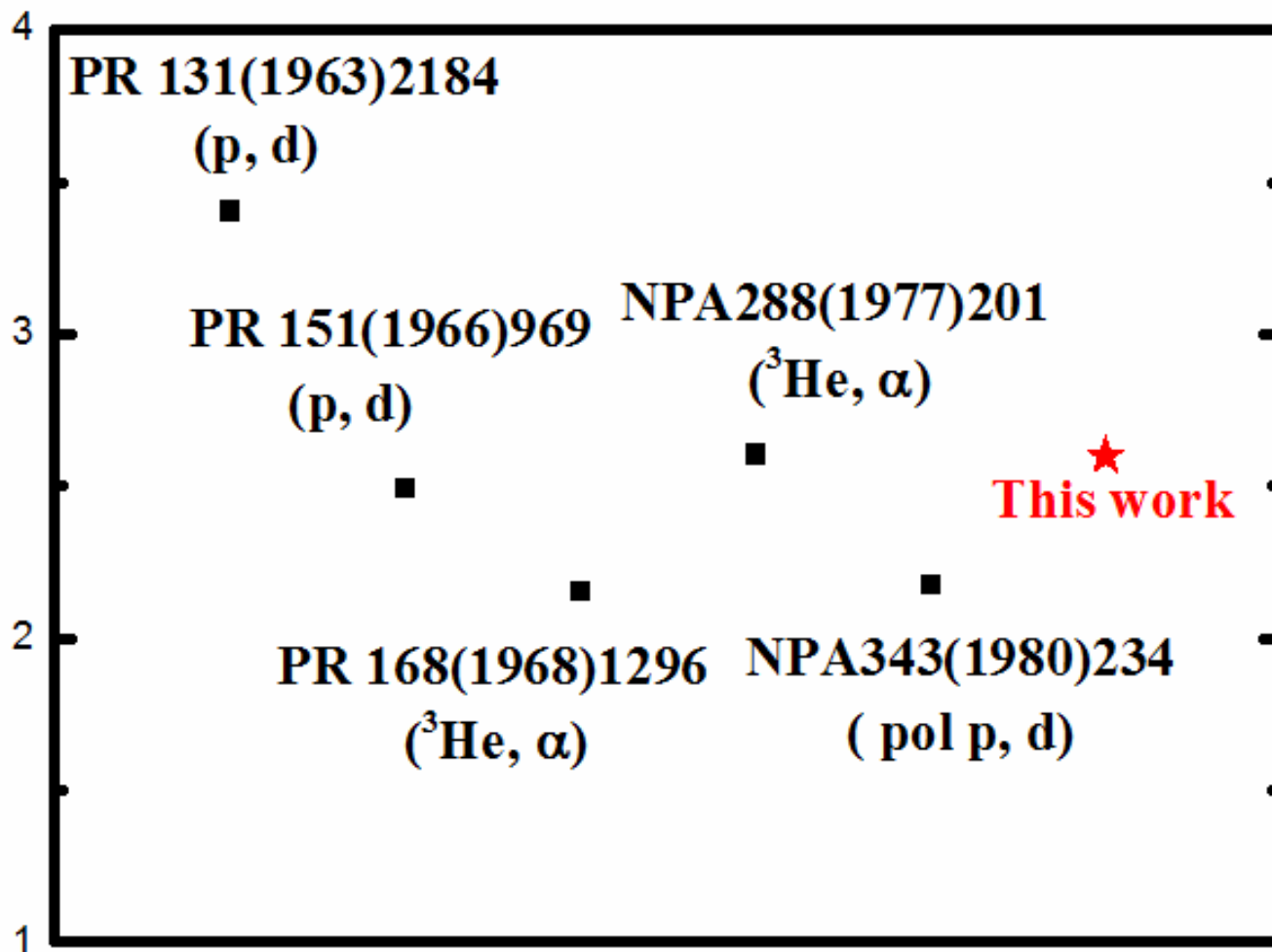
^{94}Zr 中子谱因子

$$\sigma_{\text{exp}} = S_{^{13}\text{C}} S_{^{94}\text{Zr}} \sigma_{\text{DWBA}}$$

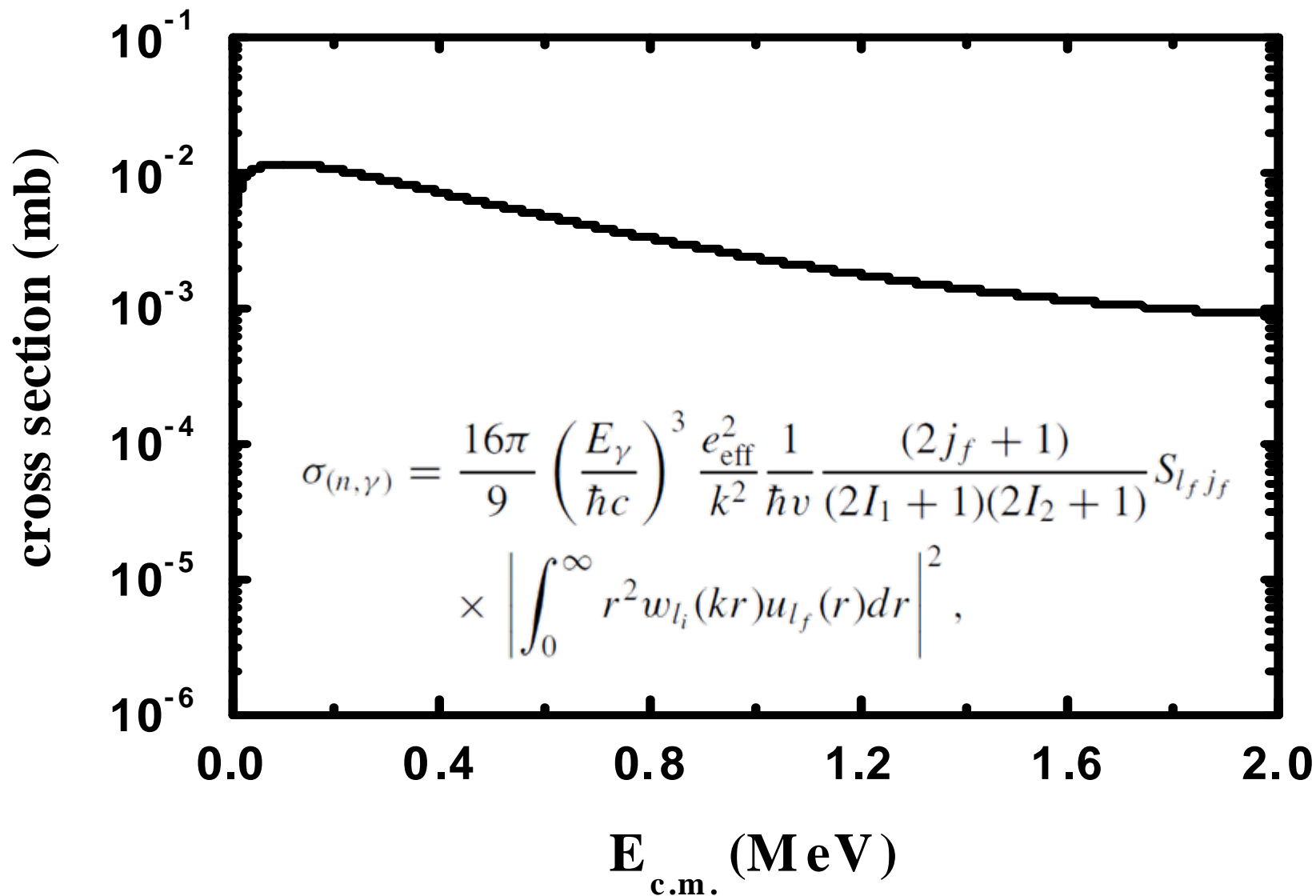
$$S_{^{13}\text{C}} = 0.65 \quad \text{Physical Review C 81(2010) 035802}$$



^{94}Zr 中子谱因子对比



$^{93}\text{Zr}(n,\gamma)^{94}\text{Zr}$ 反应的激发函数



小结

测量了 $^{12,13}\text{C}+^{94}\text{Zr}$ 弹性散射角分布

提取出 ^{94}Zr 中子谱因子为 2.60 ± 0.20

得到了 $^{93}\text{Zr}(n,\gamma)^{94}\text{Zr}$ 反应的激发函数

THANKS