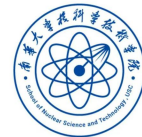


基于CSNS 反角白光中子源的Te、Sb中 子俘获截面研究进展

汇报人：尹铭杨

指导老师：罗文 李鑫祥



目 录

壹 研究背景与意义

貳 原理与方法

叁 数据处理

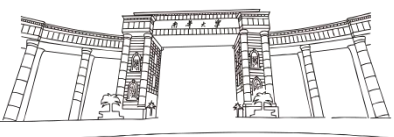
肆 总结与展望

壹

研究背景与意义

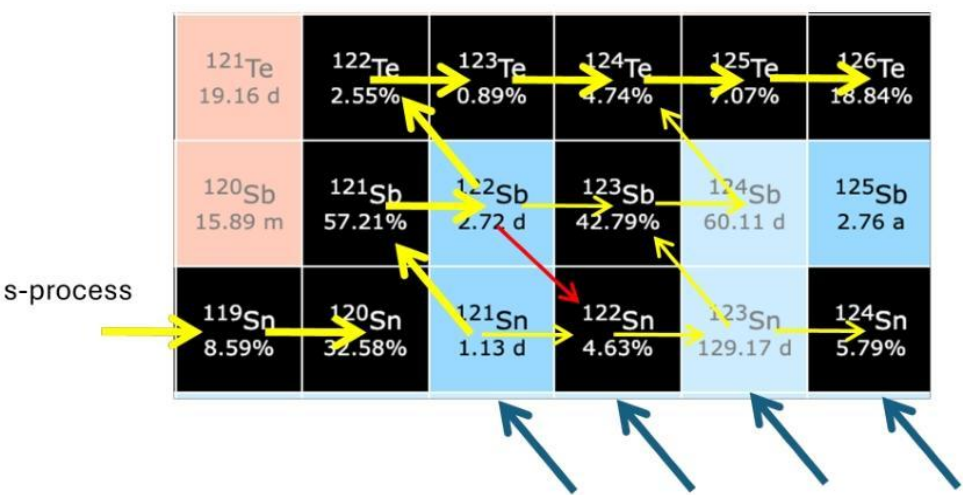
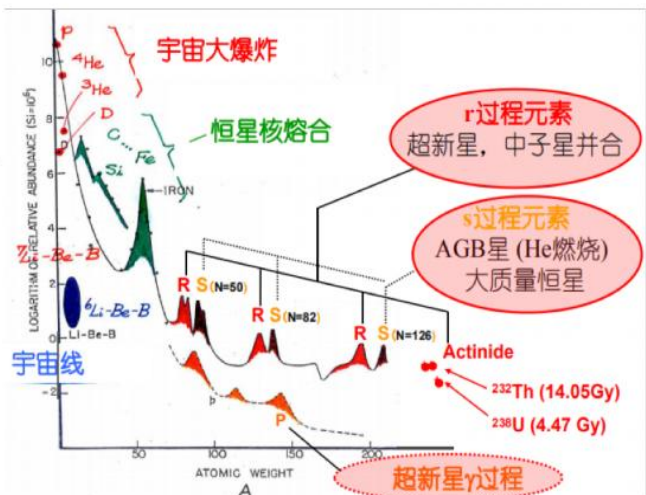
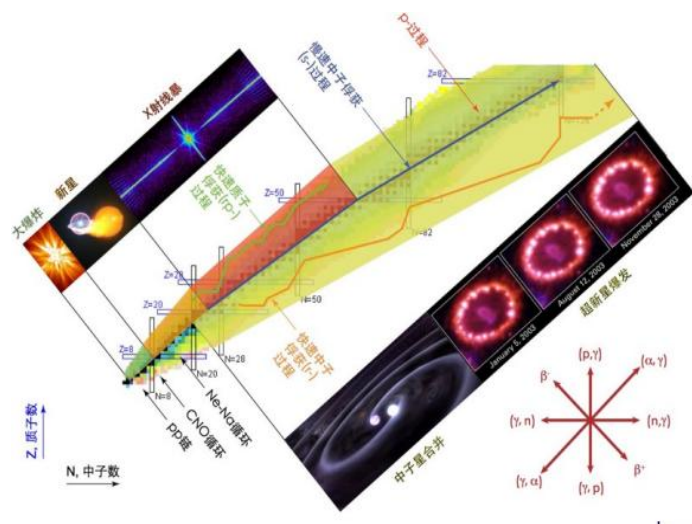


南華大學
UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

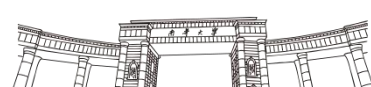


UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

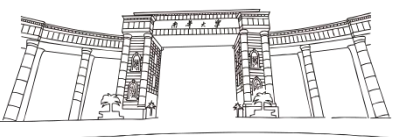
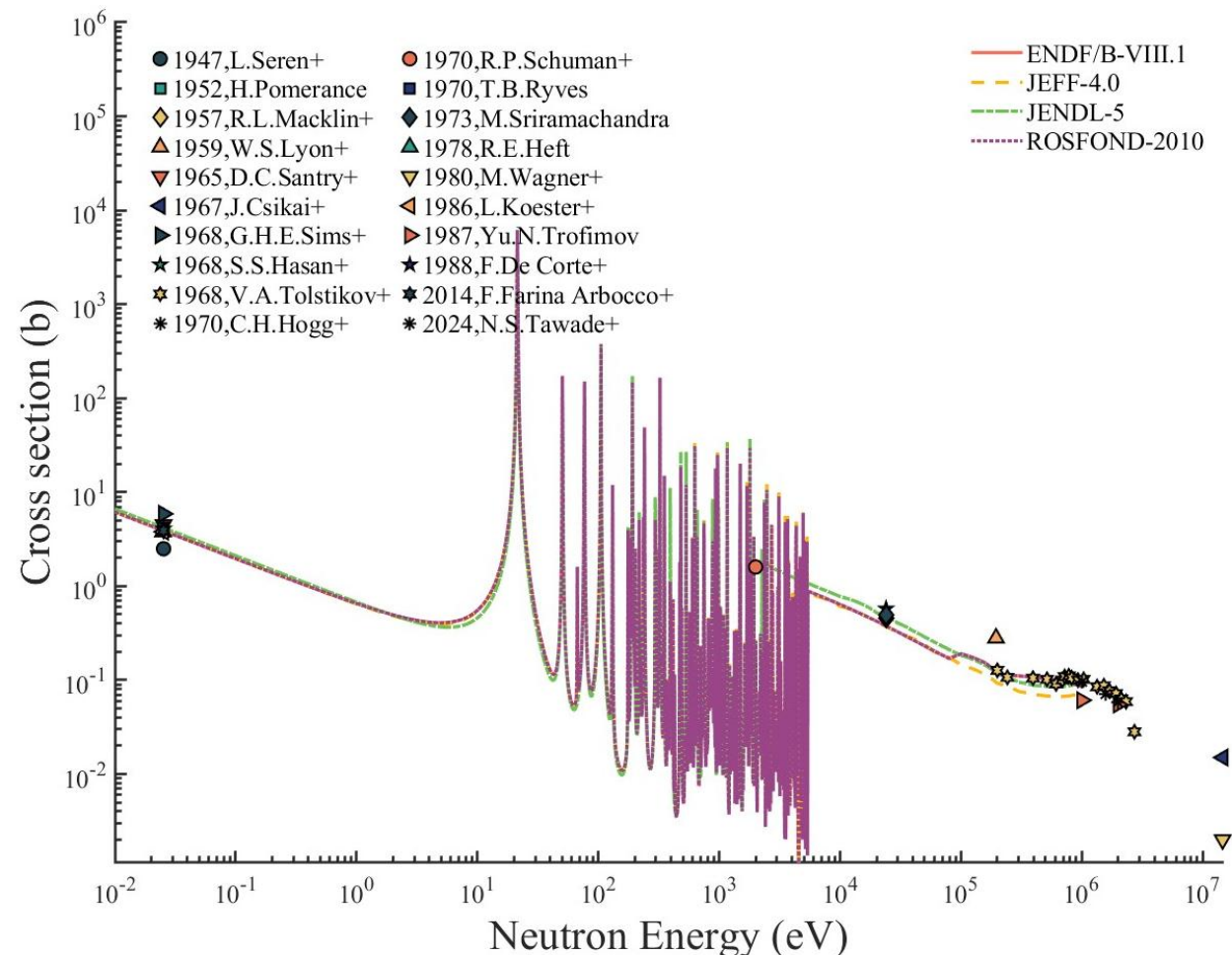
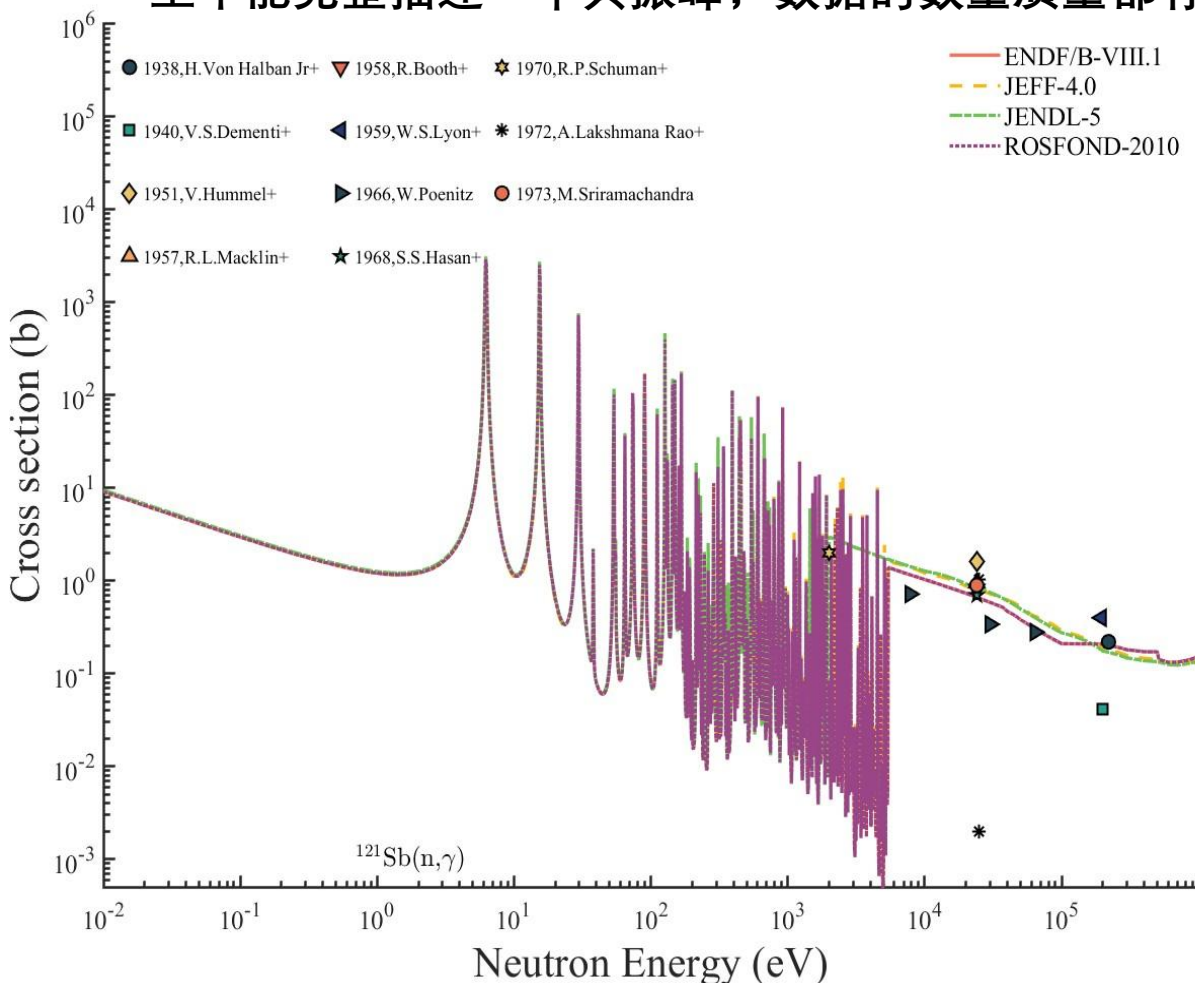
s 过程作为恒星核合成的核心机制，承担着约一半比铁重元素的生成任务，其中铁以后元素的合成主要发生在低质量渐近巨支（AGB）恒星内部——通过中子俘获反应逐步构建更重的原子核。要精准模拟 s 过程、理解其生成的元素丰度模式，掌握中子俘获截面的准确数据至关重要。

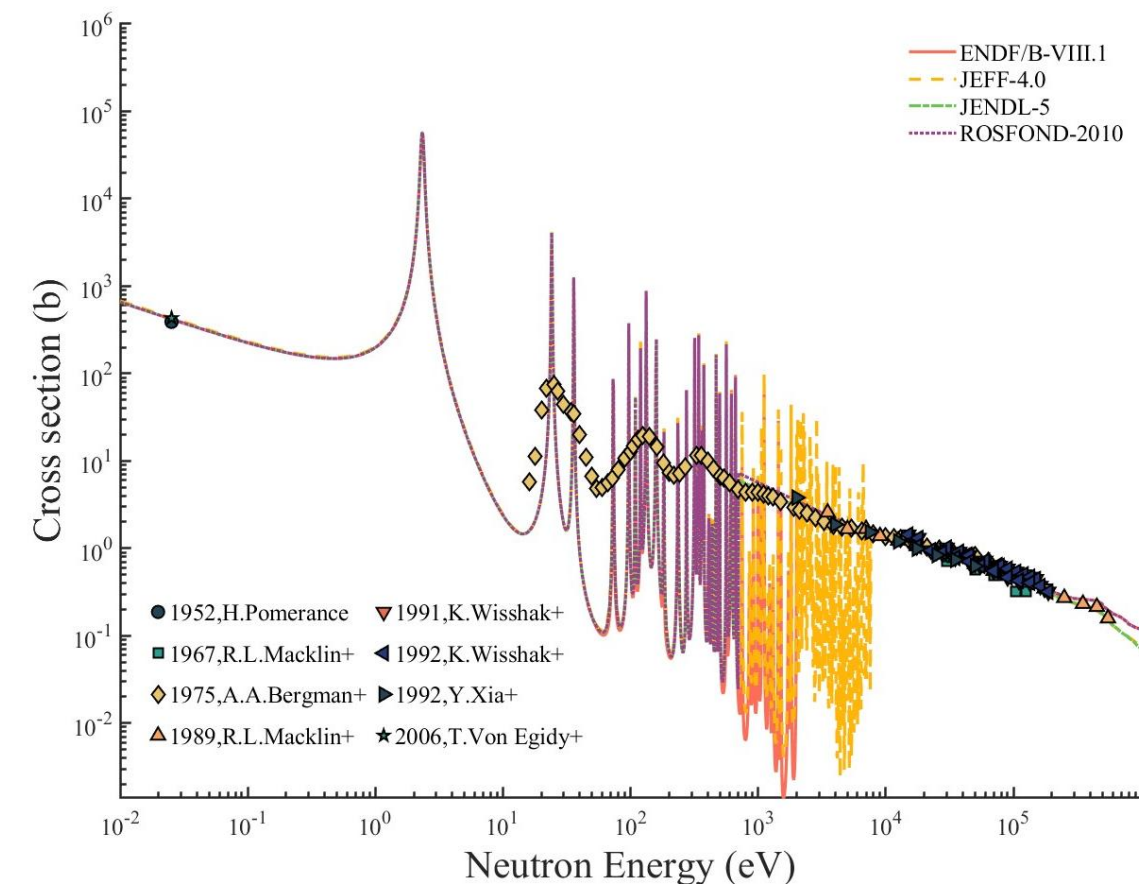


s 过程(黄色)和 r 过程(蓝色)在 ^{121}Sb 与 ^{123}Sb 周边区域的路径



目前， $^{121}\text{Sb}(n, \gamma)$ 和 $^{123}\text{Sb}(n, \gamma)$ 反应在共振能区的实验数据相当缺乏，现有的实验数据甚至不能完整描述一个共振峰，数据的数量质量都有待提升。

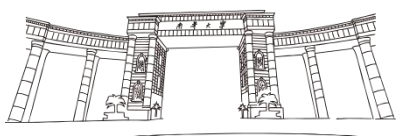




目前，对于 $^{123}\text{Te}(n, \gamma)$ 的截面测量主要存在三个问题

- 在共振能区的实验数据较少。
- 在共振区的实验数据测量时间早，因此精度不够高。不能满足现对天体反应丰度计算的需求。
- 不同的数据库之间存在，明显差异。因此亟需高精度的实验数据进行补充。

中国的核评价数据库CENDL-3.2仍未包含 ^{122}Te ， ^{123}Te ， ^{124}Te ，的中子俘获截面数据，急需国内相关实验工作的开展。

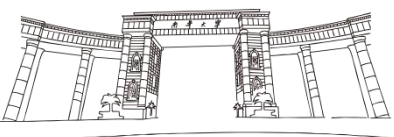




原理与方法

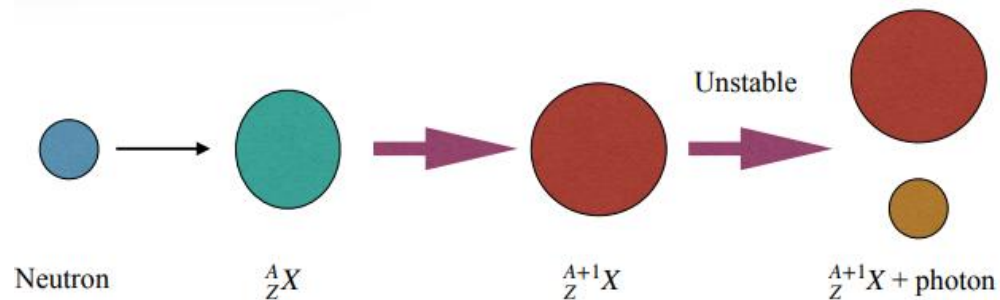


南華大學
UNIVERSITY OF SOUTH CHINA



UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

中子辐射俘获反应：即(n, γ)反应，是中子消失的主要核反之一。辐射俘获截面数据在国防、能源、核技术利用中具有重要的价值；在核天体物理中，俘获反应率是天体模型的重要参数。



中子俘获反应示意图

中子辐射俘获截面测量方法：

1) 中子活化法：中子束辐照样品，高纯锗谱仪离线测量；需生成核有合适的半衰期。

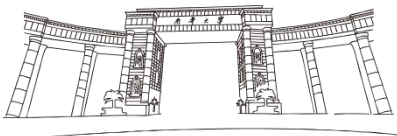
2) 瞬发 γ 射线法：利用飞行时间法和高能量分辨谱仪在线测量；探测系统较为复杂。



高分辨率型 γ 射线探测系统：HPGe, LaBr₃，能级纲图、退激路径和分支比；

全吸收型 γ 射线探测系统：BaF, NaI(Tl), BGO，加和能，退激路径无关；

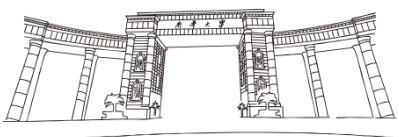
总能量型 γ 射线探测系统：C₆D₆，退激路径无关探测效率低，且与激发能有关。





实验方案:

- 选用 C_6D_6 探测系统检测中子俘获反应产生的 γ 射线级联。
- 中子俘获产额采用脉冲高度加权法 (PHWT) 测定。
- 中子能量分辨率函数通过Geant4工具包进行模拟。
- 中子共振参数基于R Matrix框架, 利用sammy代码提取得出。

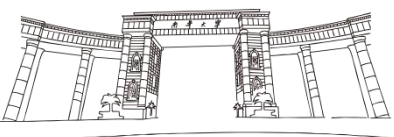




数据处理



南華大學
UNIVERSITY OF SOUTH CHINA



UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

在低能区加权后的俘获截面反应产额 Y_w 满足以下关系：

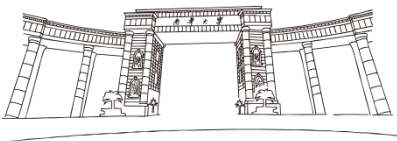
$$Y_w(E) = \frac{N_w}{N_s I s_n}$$

中子俘获截面与反应产额有以下关系：

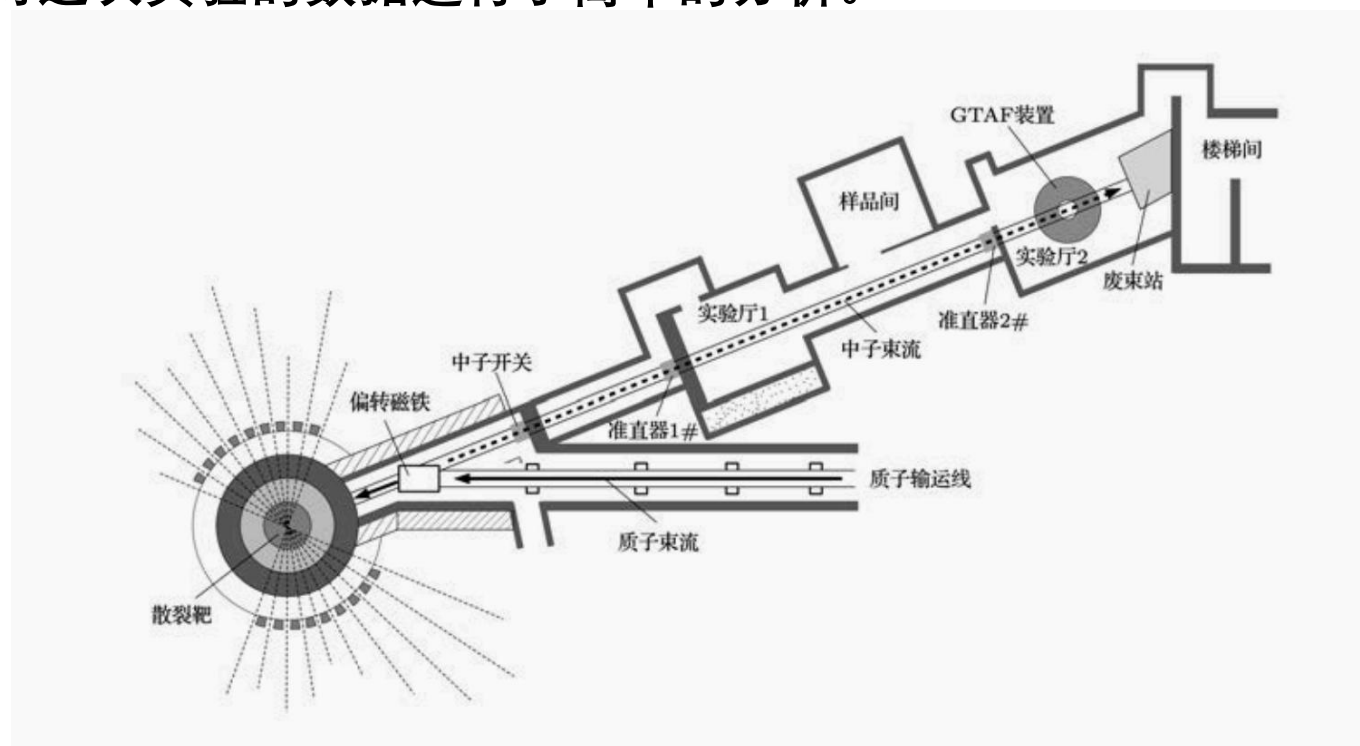
$$\sigma_c(E) = \frac{N_w}{N_s I s_n} \times \frac{\sigma_t}{1 - e^{-N \sigma_t f_c t}}$$

$$Y_w(E) = (1 - e^{-N \sigma_t(E) t f_c}) \frac{\sigma_c(E)}{\sigma_t(E)}$$

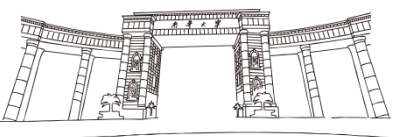
式中： Y_w 为加权后的中子俘获产额； σ_c 为靶核的中子俘获截面； N_w 为加权后的脉冲高度谱计数； N_s 为靶核的面密度； s_n 为靶核的中子结合能； I 为中子注量率； N 为靶核的原子密度； $\sigma_t(E)$ 为不同中子能量下靶核的反应总截面； $\sigma_c(E)$ 为不同中子能量下靶核的俘获截面； t 为靶的厚度。由于中子在靶内多次散射可能导致中子的实际运动路径长度将大于靶的厚度，引入厚度修正因子 f_c 。



本次实验在Back-n实验大厅 #2孔径为 ϕ 50-15-40mm的条件下开展，现白光的官网上并没有发布26年的厅2的中子能谱，我用去年的中子能谱尝试对实验数据及进行产额计算，计算结果并不理想，所以接下来我对这次实验的数据进行了简单的分析。



CSNS 反角白光中子源束线布局图



在Back-n用 C_6D_6 探测器测量中子俘获截面时，主要有**两种类型**的本底：

- 1)与样品无关的本底，与样品不相关，如环境放射性等。
- 2)与样品相关的本底，由于束流粒子的散射，与样品相关。

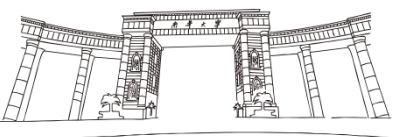
$$\sigma_{n\gamma} \propto \frac{N_w}{N_s I S_n}$$

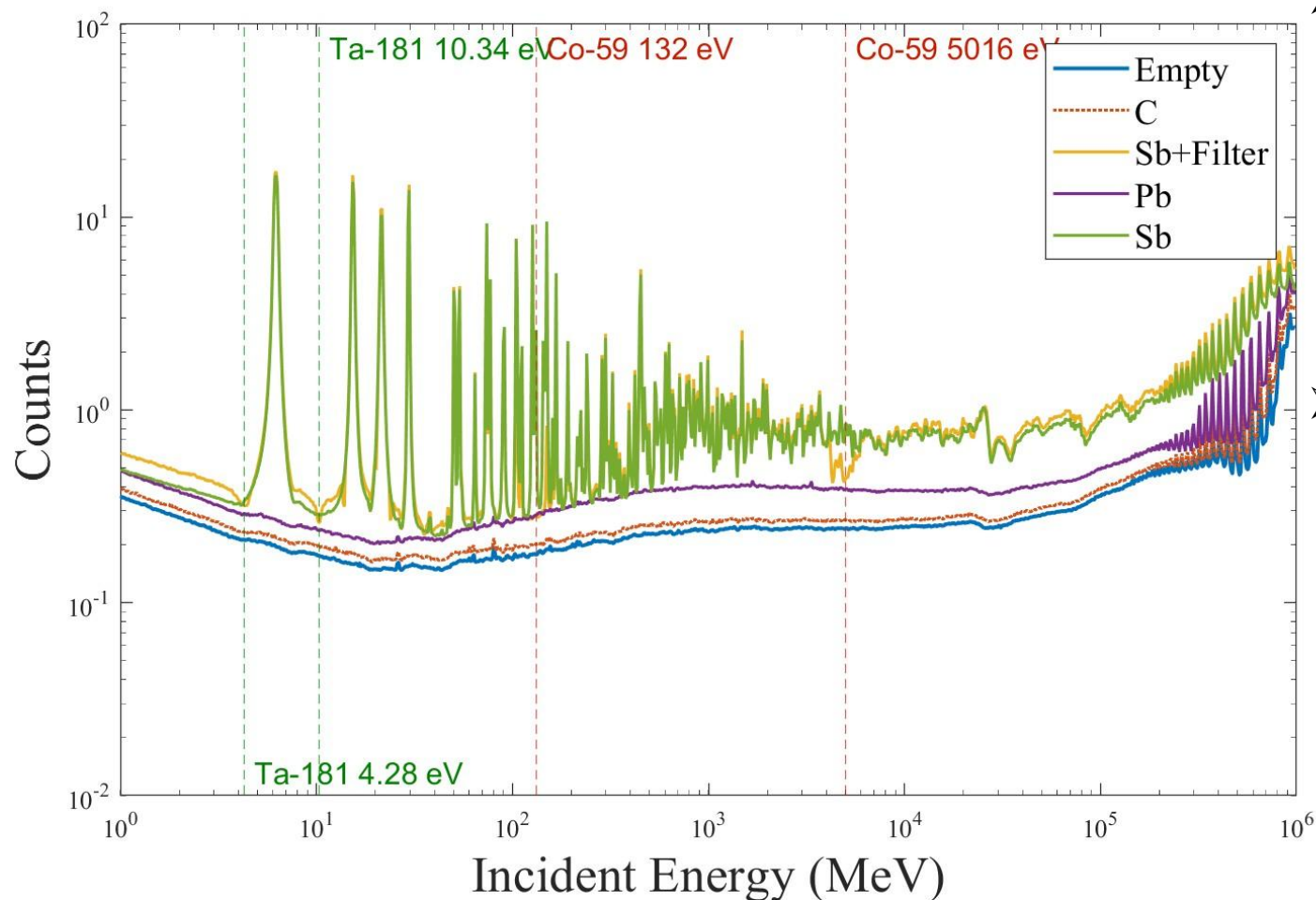
$$B(t) = B_0 + B_{empty}(t) + B_{sample}(t)$$

式中 B_0 为与样本和时间不相关的本底; B_{empty} 是与时间相关但与样本不相关的本底; $B_{sample}(t)$ 与样品截获的所有束流粒子有关，包括散射中子本底 $B_{sn}(t)$ 和束流 γ 本底 $B_{s\gamma}(t)$ 。

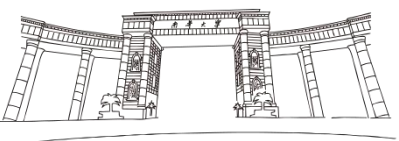
$$B(t) = B_0 + B_{empty}(t) + B_{sn}(t) + B_{s\gamma}(t)$$

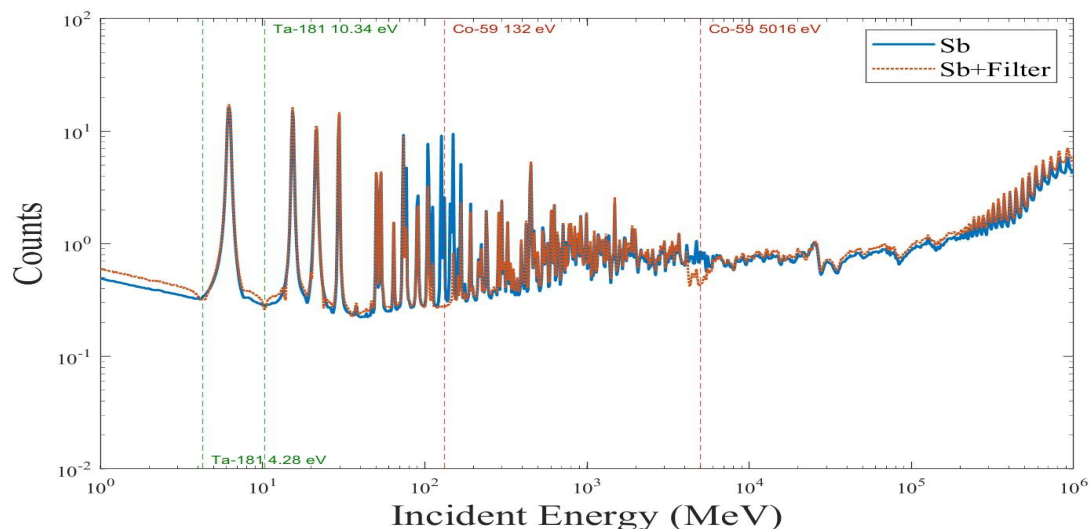
- 中子散射本底 $B_{sn}(t)$: 由目标靶散射的中子与周围环境反应所产生的本底;
- 束内 γ 本底 $B_{\gamma}(t)$: 质子轰击散裂靶所产生的大量 γ -射线;



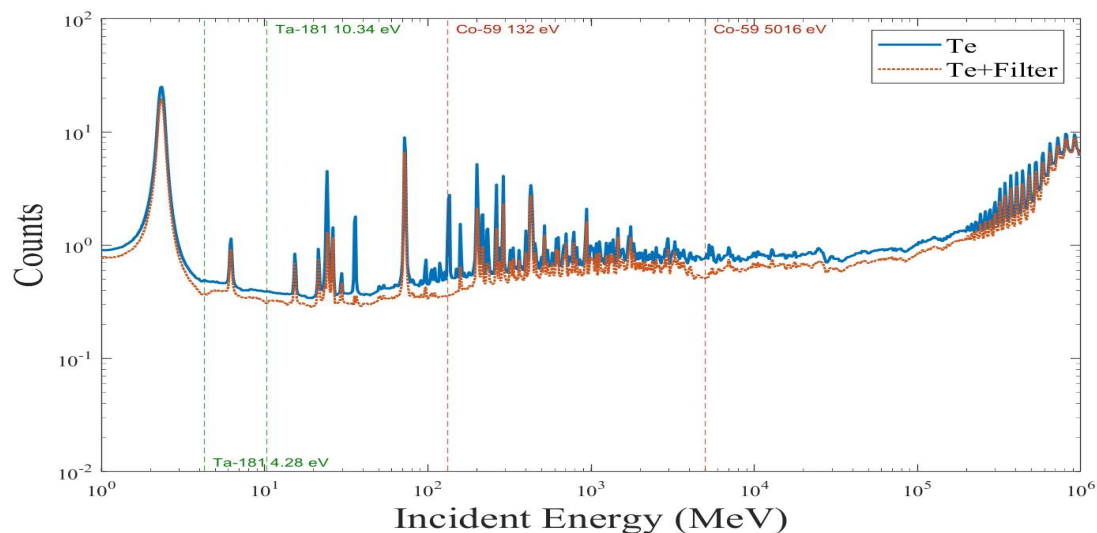


- 对于中子散射本底，其物理机制是入射中子在样品靶上发生弹性/非弹性散射后，部分散射中子被探测器周围材料俘获产生的次级 γ 射线。
- 对于束内 γ 本底，其来源于散裂靶组件中轻元素（主要是氢）的 (n, γ) 反应产生的高能 γ 射线。

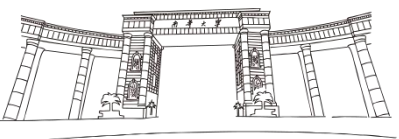




对于 γ 射线的定量刻度，则需通过目标靶与吸收片的组合测量实现。



将Te与Te+Filter、Sb与Sb+Filter的原始计数数据以中子检测数归一后进行对比，我们可以看到有明显的吸收谷。

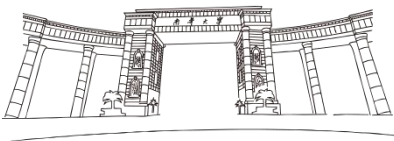


瞬发 γ 射线法要求测量系统的探测效率 (ε_c) 与 $A+1Z^*$ 的退激路径无关, 即与级联 γ 射线多重数无关。与级联 γ 射线的能量分布无关。

C_6D_6 探测系统对 γ 的探测效率足够低, 以致于对于一次中子俘获反应, 最多只探测到级联发射中的一条 γ 射线。针对俘获反应的探测效率近似于对于该俘获反应的级联 γ 探测效率之和:

$$\varepsilon_c = 1 - \prod (1 - \varepsilon_{\gamma i}) \approx \sum \varepsilon_{\gamma i}$$

式中: ε_c 为俘获反应的探测效率; $\varepsilon_{\gamma i}$ 为第*i*条级联 γ 射线的探测效率并且足够小。



$$\sigma_{n\gamma} \propto \frac{N_w}{N_s I S_n}$$

As shown in Eq. (3), the efficiency, and, hence, the calculated capture yield, is inversely proportional to E_n . However, only a single S_n (typically chosen to be that of the most abundant isotope in the sample) can be used in weighting the data. Therefore, in the analysis of the capture data, the abundances of the other Mg isotopes in the sample must be scaled according to their S_n value. In particular, the neutron separation energies used were 7.33, 11.09, and 6.44 MeV for ^{25}Mg , ^{26}Mg , and ^{27}Mg , respectively.

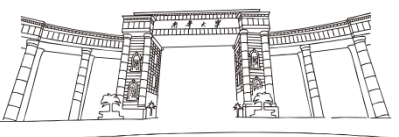
Phys. Rev. C 85, 044615 (2012)

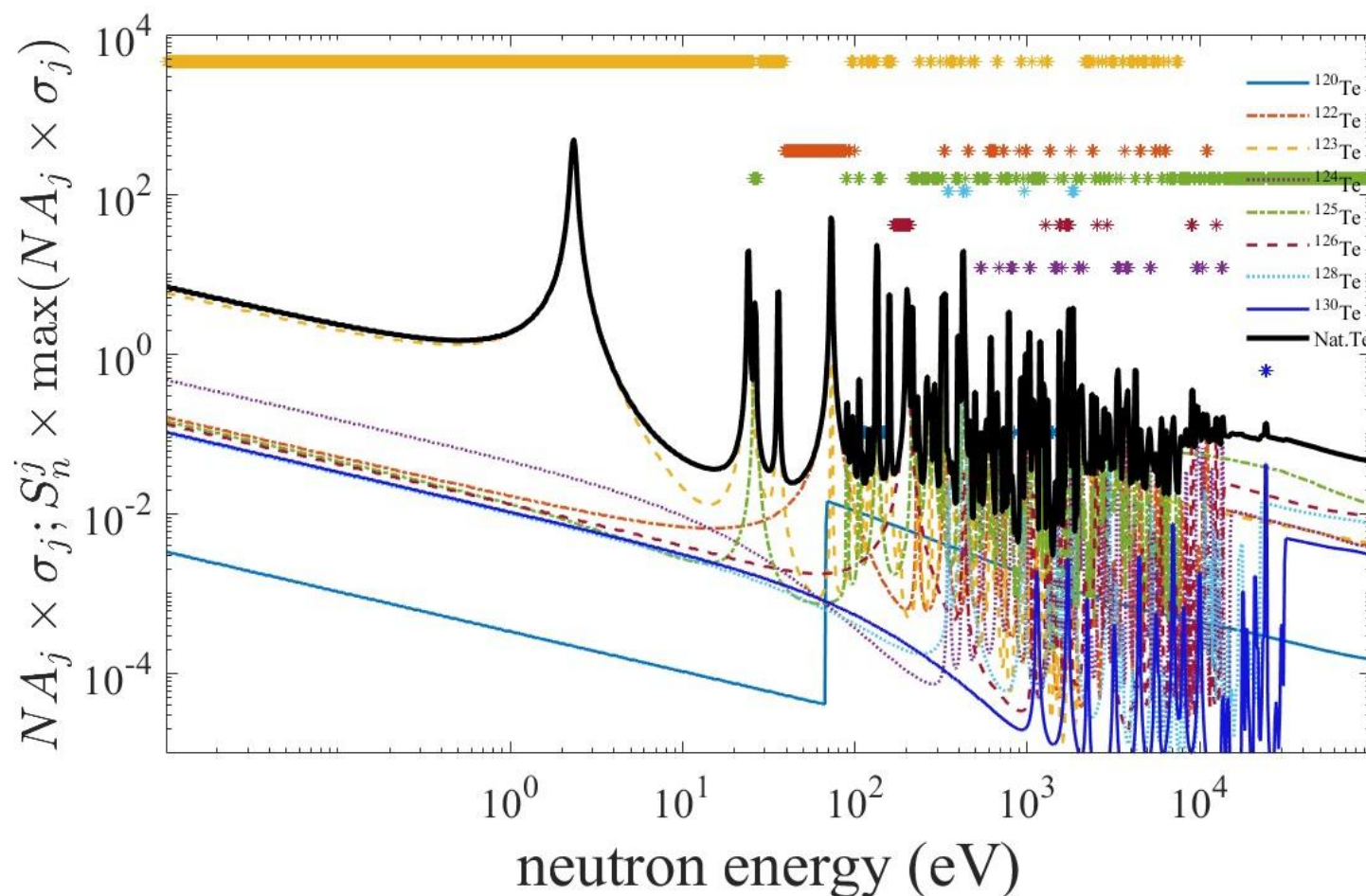
$^{\text{nat}}\text{Sn}$ 的值取用天然同位素中丰度最大的同位素的 S_n

the measurement of the saturated 4.9 eV resonance in the thick ^{197}Au sample. ϵ_{E_n} is the detection efficiency, which for weighted counts is equal to the excitation energy ($S_n + E_n$) according to Eq. (3), and $S_n = 7.054$ MeV for $^{\text{nat}}\text{Se}$. C_W and B_W are the weighted pulse height spectra for the $^{\text{nat}}\text{Se}$ sample and the total background, respectively. The neutron fluence was

Chin. Phys. B 31, 080101 (2022)

$^{\text{nat}}\text{Sn}$ 的值等于同位素的 S_n 按丰度的加权平均值





天然Te靶的Sn值

- 在上述计算中， $Sn(natural)$ 是一个与中子能量无关的常数。实际上，对于天然靶材而言，不同的共振峰分别由不同的同位素贡献；因此 $Sn(natural)$ 在不同共振能处的表现应有所不同。本研究中，天然靶材的中子分离能通过以下公式确定：

$$\begin{aligned} \text{nat}Sn(E) &= \sum_j S_n^j; \\ A &= \sum_j NA_j * \sigma_j \end{aligned}$$

其中 NA_j 是第 j 个天然同位素的丰度。

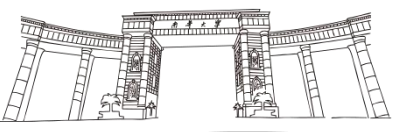


总结

目前对Sb和Te中子俘获截面的进行了较为粗略的分析。得到白光的中子能谱后将对实验数据进行更加细致的分析。

展望

- 通过计算得到本次实验可用中子能谱。
- 对今年实验得到Sb/Tb靶的数据进行分析。



THANKS!



请大家批评指正！

• UNIVERSITY OF SOUTH CHINA