

基于CSNS Back-n的10-100 eV天然银中子全截面测量

唐生达^{1,2,3}, 陈永浩^{1,2}, 杨振³

1. 中国科学院高能物理研究所, 北京, 100049
2. 散裂中子源科学中心, 东莞, 523803
3. 中山大学中法核工程与技术学院, 珠海, 519082

第九届白光用户研讨会 中国·安徽·六安 2025.7.22-25

目 录

研 究 背 景

实 验 测 量

数 据 分 析

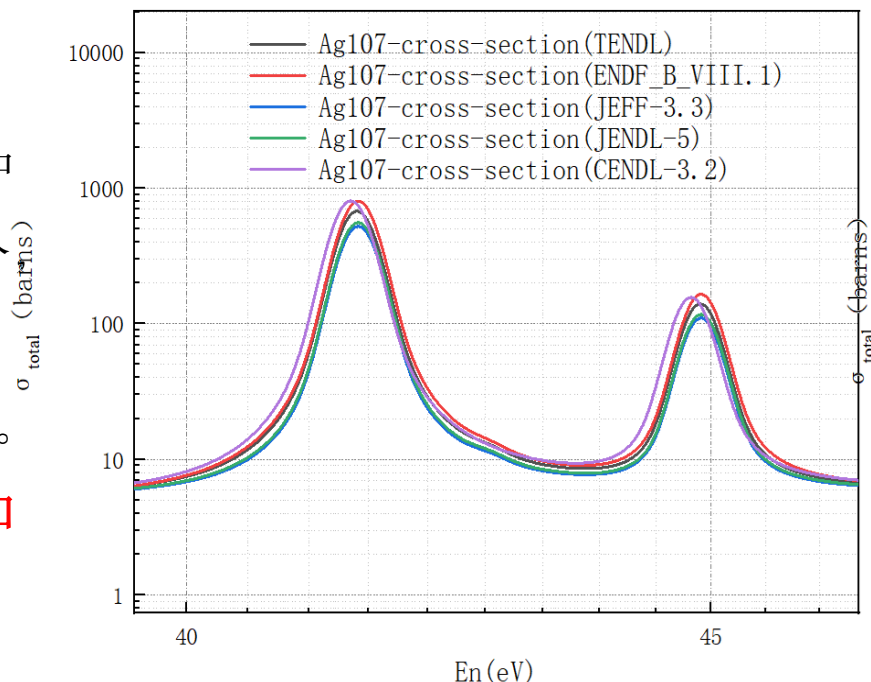
总 结 展 望

研究背景

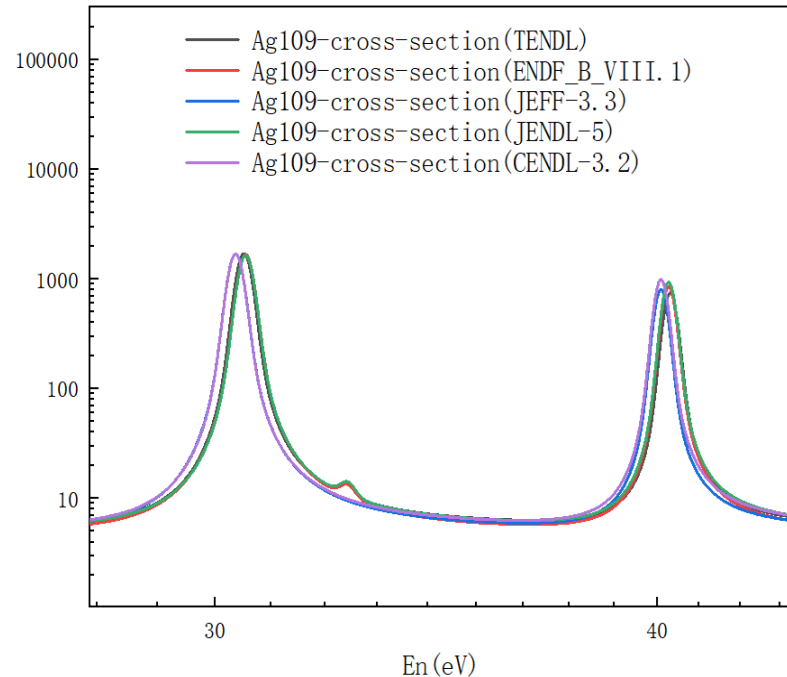
- 中子共振透射分析方法（Neutron resonance Transmission analysis, NRTA）是一种基于中子与样品相互作用，通过测量透射中子谱，进而实现样品成分及含量的无损分析技术，具有原理简单，样品要求相对较低等特点。
- NRTA定量研究初期需要选择：同位素组成相对简单、共振重叠少的样品开展实验测量和方法学研究。

银作为考古领域中的常见材料，其天然同位素 (^{107}Ag , ^{109}Ag) 在中低能区共振特征清晰、易于区分截面大小适中，是开展及验证 NRTA 定量分析方法的理想样品。

但目前不同评价数据库在能量和截面上存在一定差异，增加了 NRTA 定量分析的不确定度。



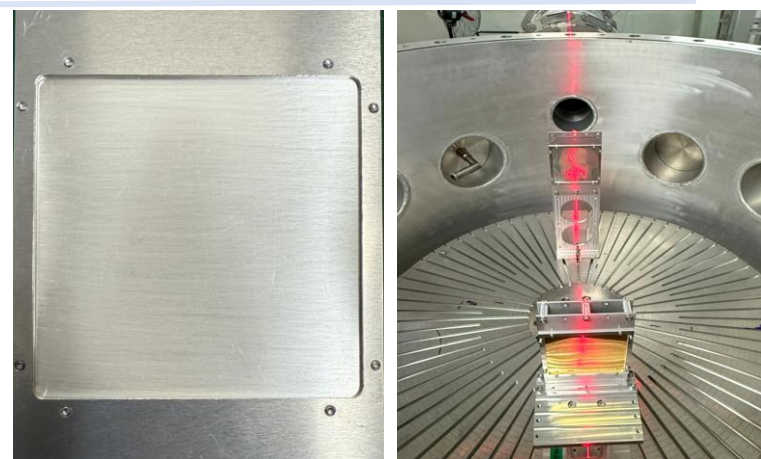
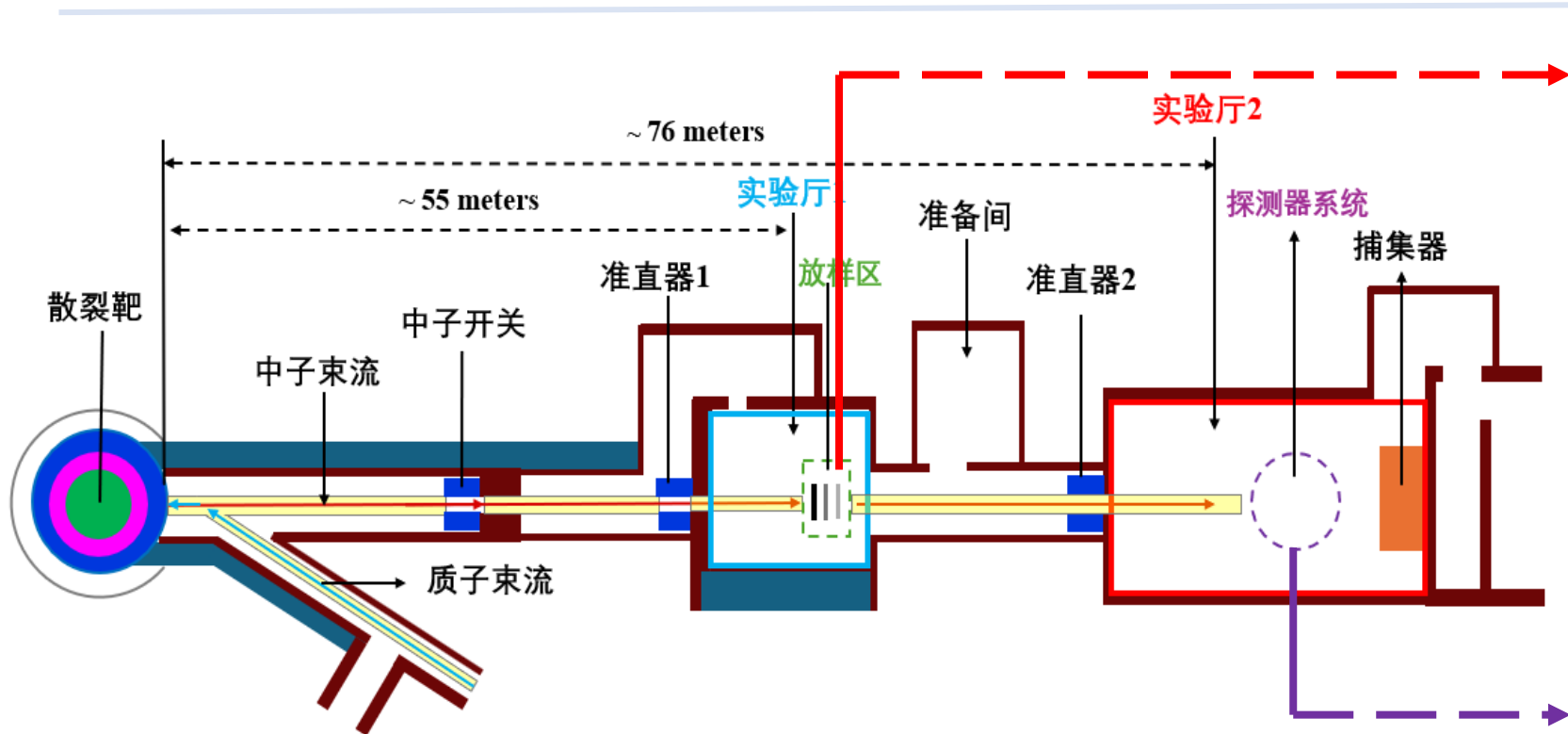
不同评价库 ^{107}Ag 全截面



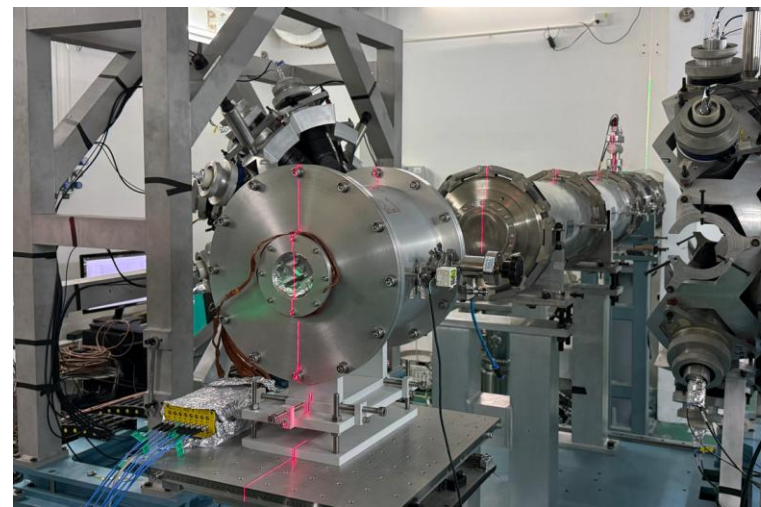
不同评价库 ^{109}Ag 全截面

基于Back-n开展天然银中子全截面测量，对验证NRTA定量分析方法、丰富核数据库具有重要意义。

实验测量



天然银样品及实验配置

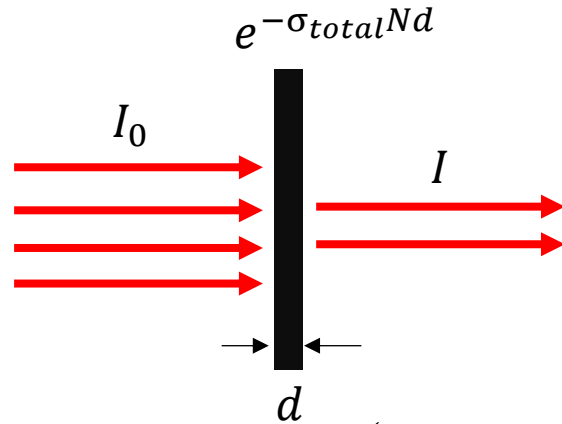


ES#2 FIXM探测器

- 实验在双束团模式下开展，功率为170 kw, 频率25 Hz。
- 天然银样品厚度为0.3 mm，有样测量约45 h，无样测量约40 h。
- 探测器为多层裂变电离室，中子转换层为 U^{235} 靶。
- 实验添加0.2 mm Au(~ 4.9 eV)、1mm Co(~ 130 eV)共振吸收片，用于评估中子本底。

数据分析

中子全截面基于**透射法**开展测量，通过分析有样、无样条件下的中子反应率，得到中子透射率，结合样品面密度，进而得到中子全截面。



中子透射率
$$T(E) = \frac{I}{I_0} = \frac{(N_{sample-in}(E) - B_{sample-in}(E))}{(N_{sample-out}(E) - B_{sample-out}(E))} A$$

$N_{sample-in}$ 、 $N_{sample-out}$: 有样、无样中子反应率

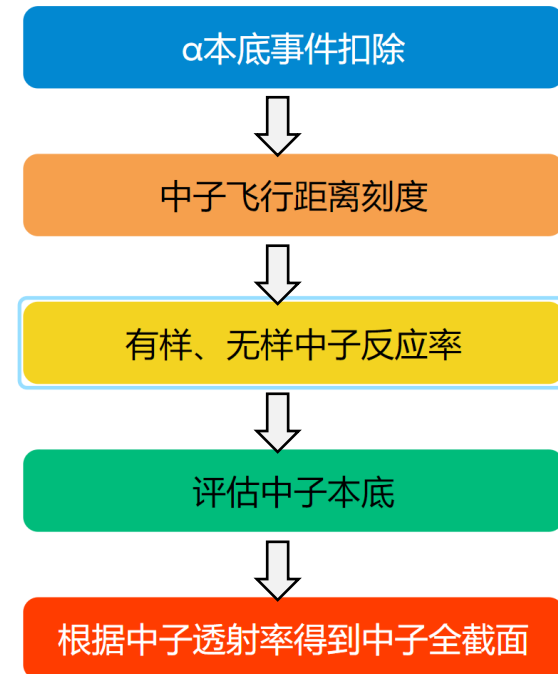
$B_{sample-in}$ 、 $B_{sample-out}$: 有样、无样中子本底计数

A : 根据有样、无样条件下的质子计数得到的中子通量归一因子

$$E_n = m_n c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (L/c * (TOF))^2}} - 1 \right) \quad TOF = T_d - \left(T_Y - \frac{L}{c} \right)$$

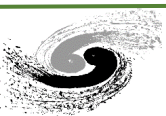
TOF : 中子飞行时间, T_d : 探测器输出时间, T_Y : 伽马flash对应时刻

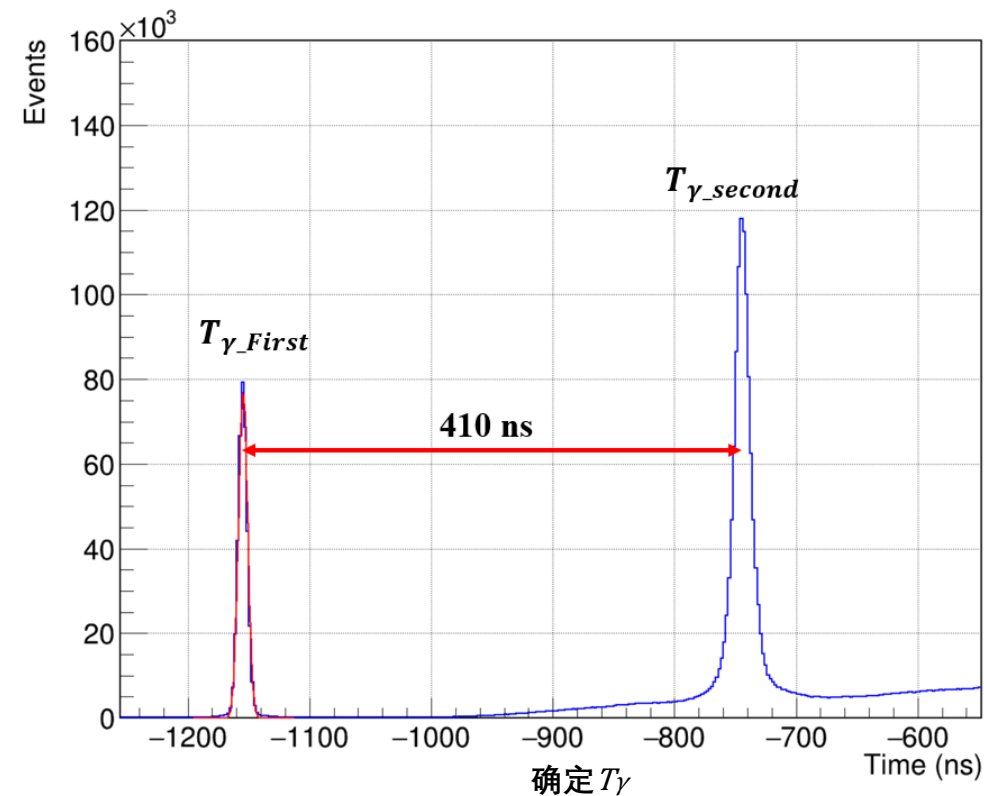
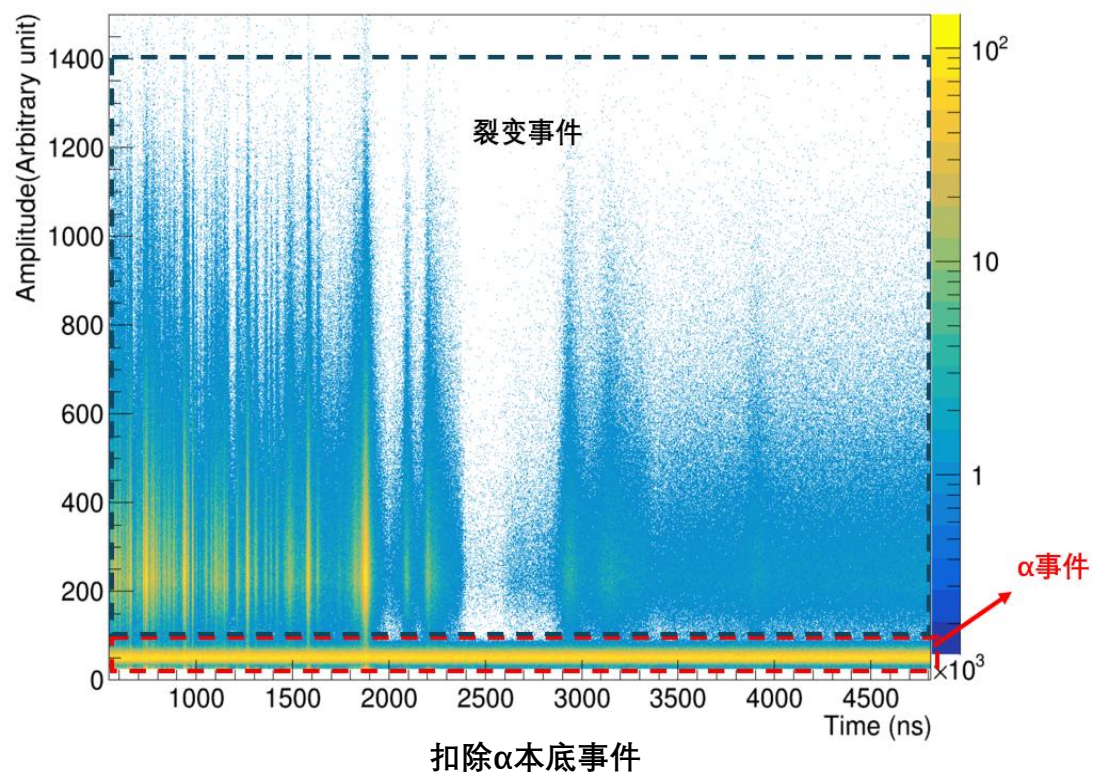
数据分析流程



中子全截面
$$\sigma_{total}(E) = -\frac{\ln T(E)}{Nd}$$

N : 单位体积内的靶核数, d : 样品厚度 (cm)



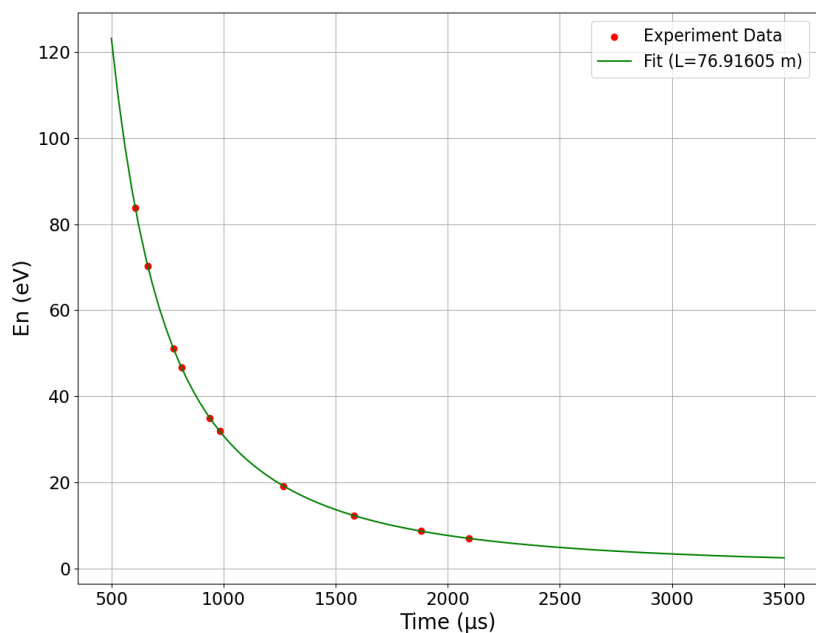


- 通过设置合理的阈值对 α 本底事件进行扣除。
- 取两个 γ -flash信号的中心作为 T_{γ} ，以减小双束团对确定中子飞行时间带来的不确定度。

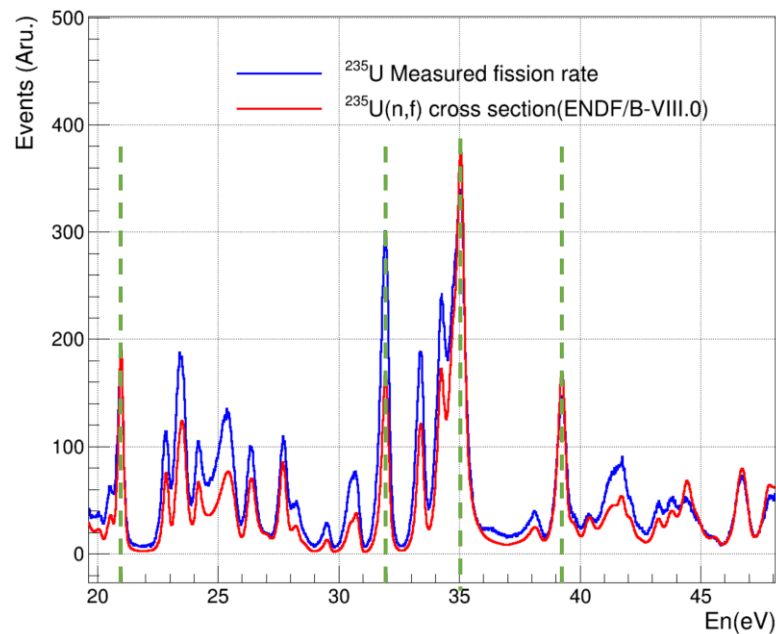
数据分析

中子飞行距离刻度

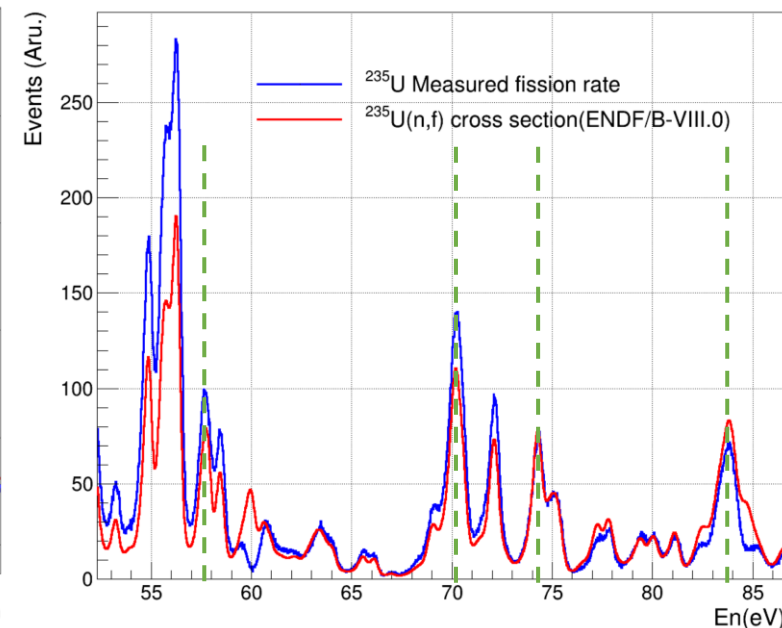
- U^{235} 在低能区拥有多个可分辨的共振吸收峰，可以用于刻度中子飞行距离，以确定中子能量。
- 根据中子能量和中子飞行时间的对应关系，可将飞行距离L作为待拟合参数进行拟合。
- 拟合出两片 U^{235} 转换层的中子飞行距离分别为:76.916m、76.935m。



刻度中子飞行距离



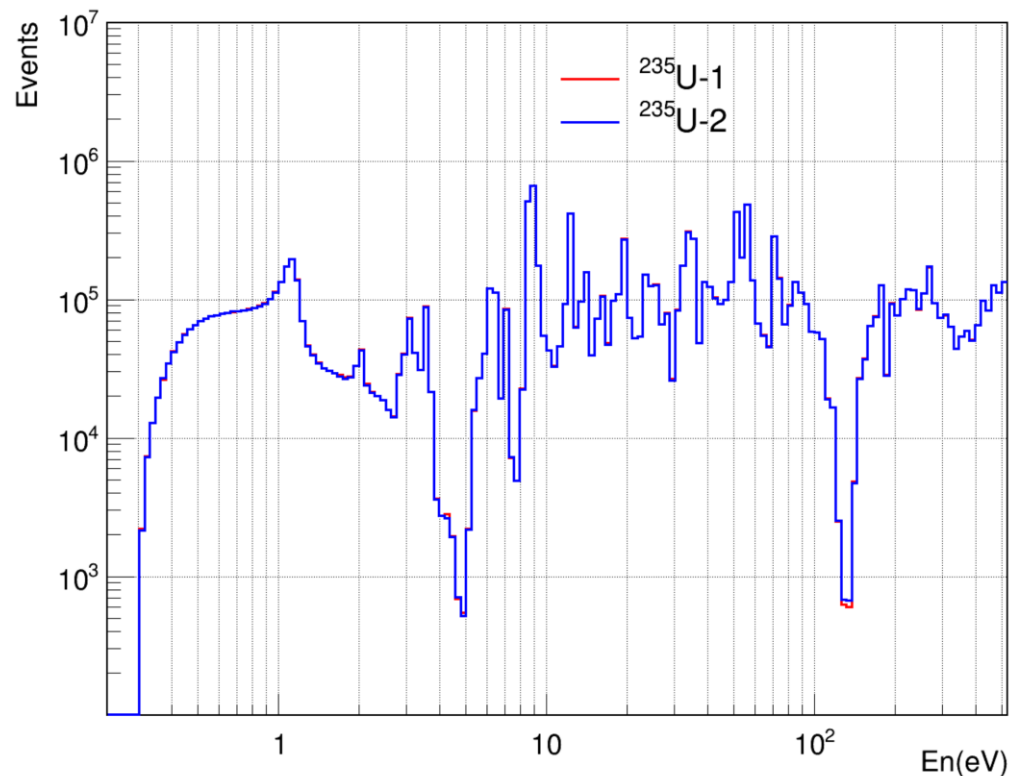
评价库与实验中子能量峰位对比 (20-50 eV)



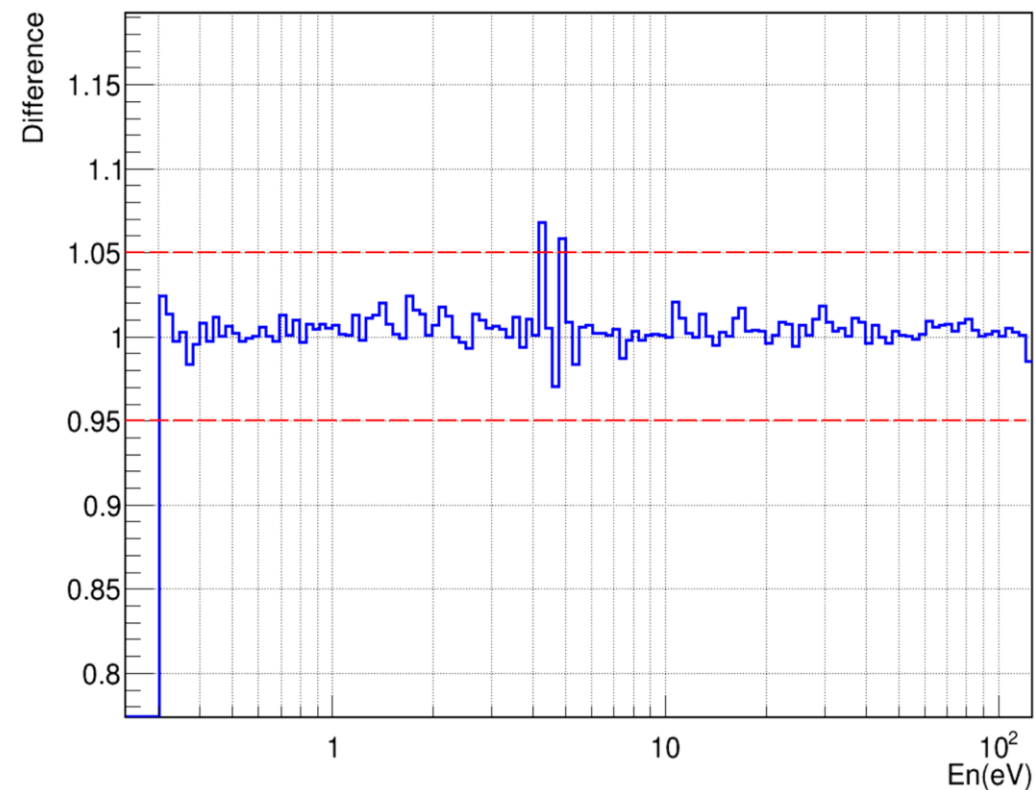
评价库与实验中子能量峰位对比 (50-90 eV)



反应率一致性验证



两片 U^{235} 靶的中子反应率 (50 bpd分bin)



两片 U^{235} 靶的中子反应率一致性 (50 bpd 分bin)

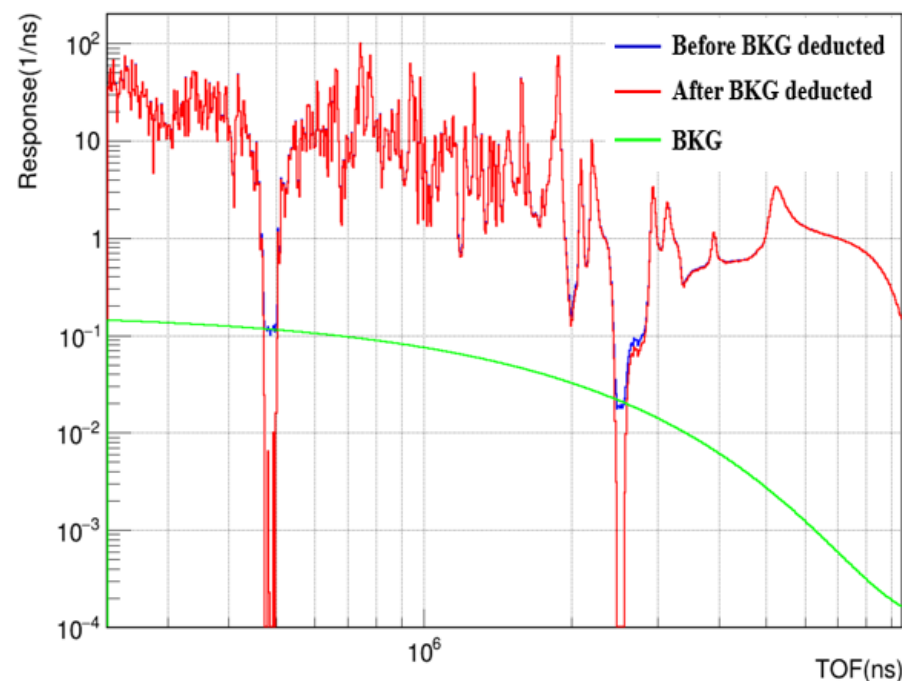
对两片 U^{235} 靶进行反应率一致性验证，有样/无样的反应率一致性在100 eV范围内基本保持在5%内，合并两片靶的计数，以进一步增加统计。



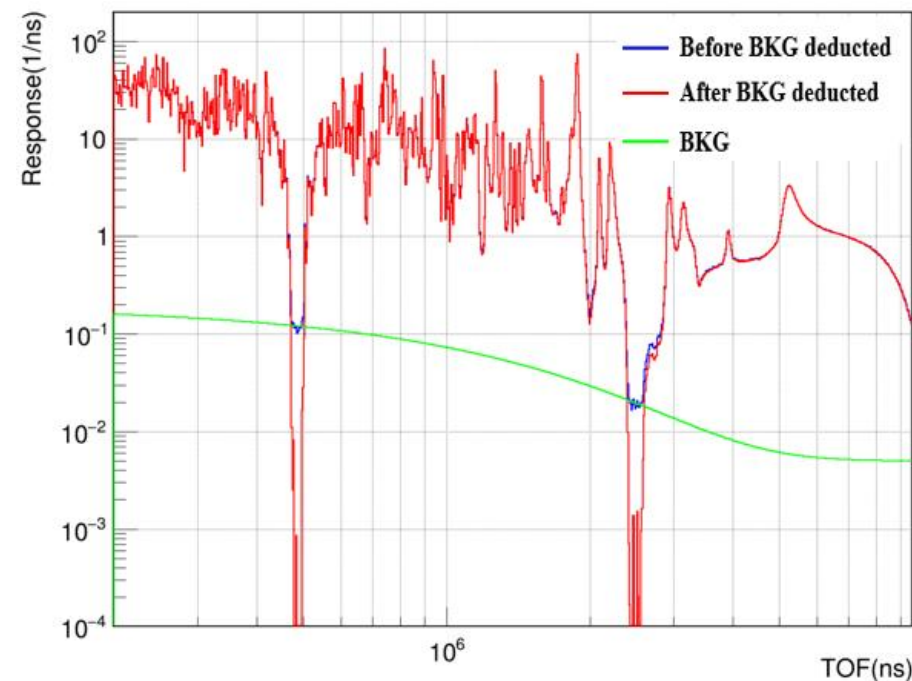
评估中子本底

实验结合“黑共振”法，采用Au (~4.9 eV)、Co (~130 eV) 两吸收片，检测10-100 eV范围的中子本底。

$$B_{total}(t) = a + be^{-\lambda t}$$



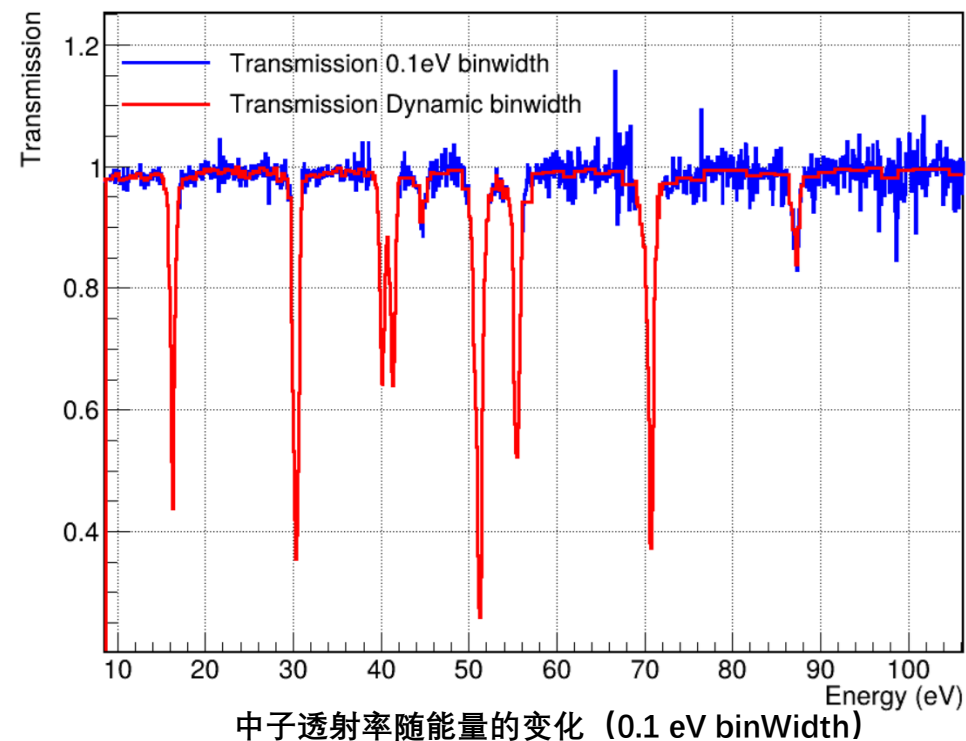
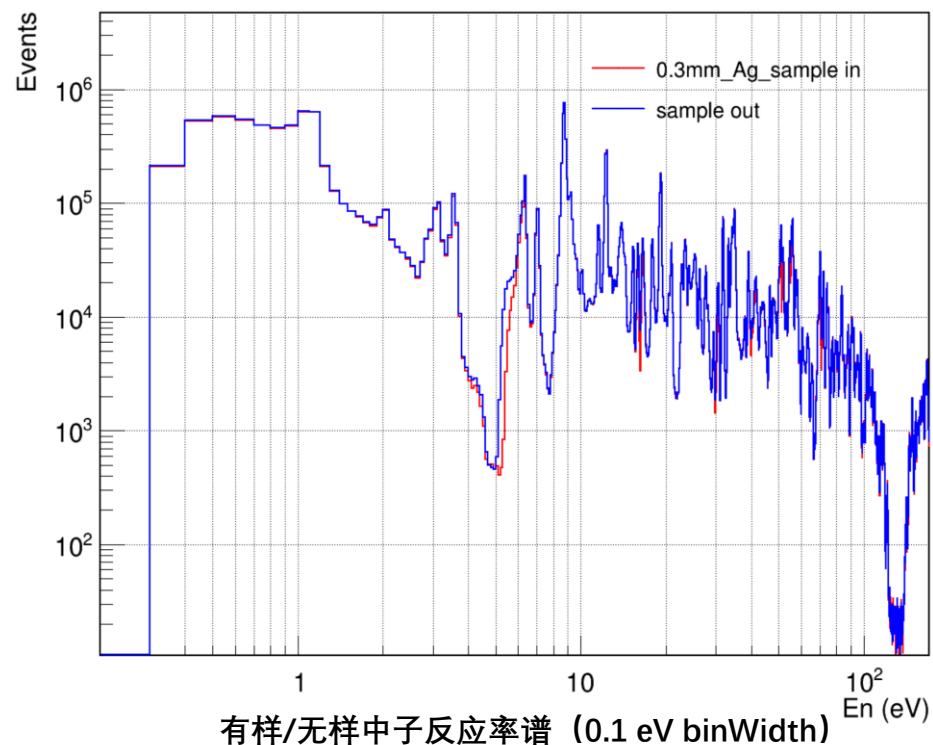
无样中子本底拟合



有样中子本底拟合

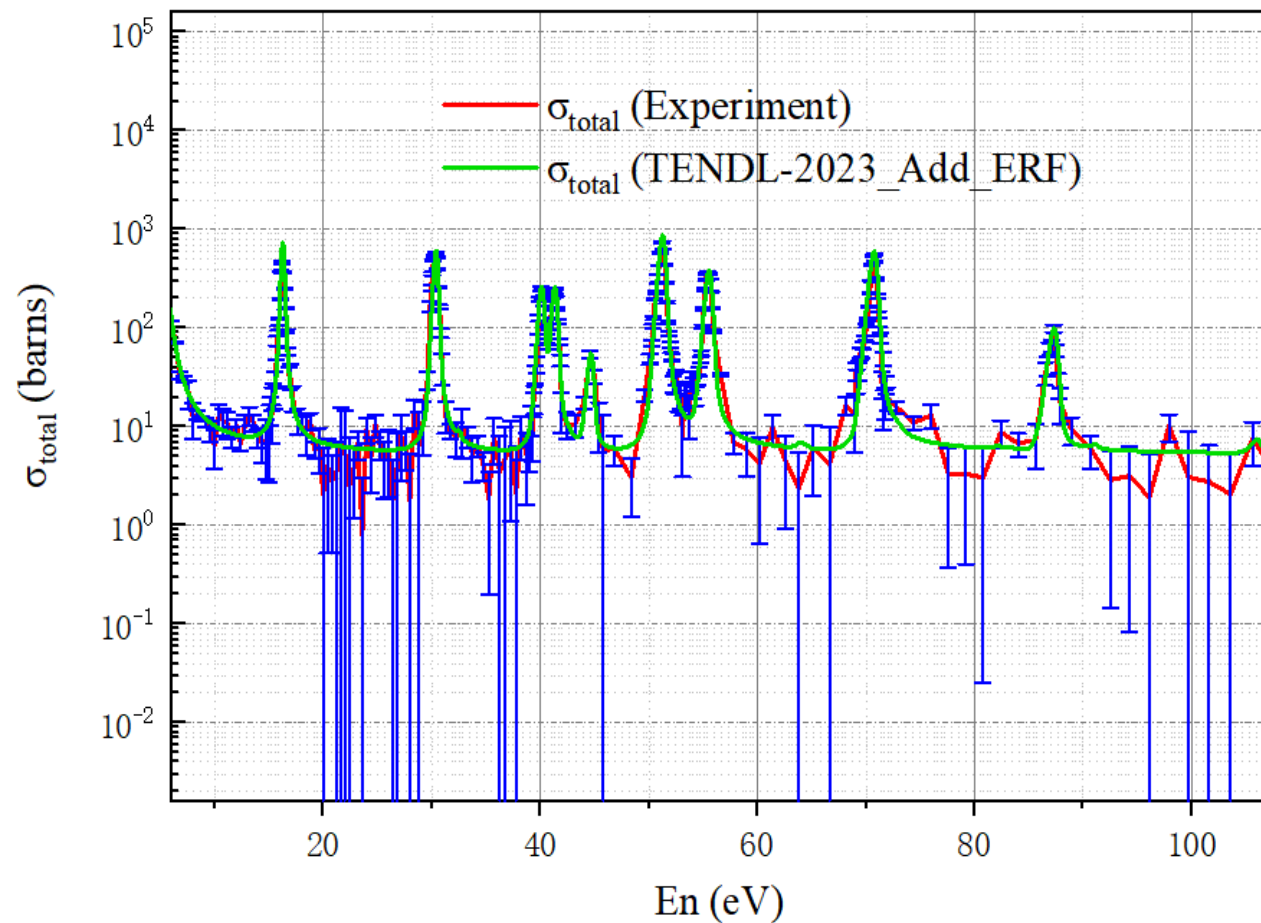
- 通过对比本底扣除前后，发现反应率几乎没有任何变化，此场景下中子本底影响非常小，基本可以忽略不计。

中子透射率



由于本次实验样品较薄，导致在非共振区域的透射率接近1，同时受统计涨落的影响，部分能点透射率大于1，通过动态分bin，增大非共振区域的bin宽。

中子全截面



天然银中子全截面

根据面密度和中子透射率计算中子截面

$$\sigma_{total}(E) = -\frac{\ln T(E)}{Nd}$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma}(E_i) = -\frac{1}{\ln T(E_i)} * \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}(E_i)\right)^2 + (\ln T(E_i))^2 * \left(\frac{\Delta N_s}{N_s}\right)^2}$$

- 透射率大小对截面不确定度的影响占比最大。
- 非共振能区透射率接近1，导致不确定度显著提升。
- 中子截面在共振能区的不确定度大部分在10%内。

总结展望

总结

- 基于CSNS Back-n开展天然银的中子全截面测量实验，得到了10-100 eV的中子全截面数据。
- 由于样品选择较薄，使得非共振区的中子不确定度较高，但共振区的中子不确定度基本在10%内。
- 当前数据拟为非均匀厚度场景中NRTA定量分析提供更加符合实验条件的天然银中子截面数据。

展望

本工作是在开展NRTA方法学研究的基础上开展的，为了更好的保留共振吸收特征，选择了薄样品，导致非共振区的截面不确定度很高，未来更准确的中子全截面测量可以通过适当增加样品厚度，更长的测量机时来优化实验配置，进一步提高测量精度。

谢谢大家！

