

# 铪的中子辐射俘获反应截面测量进展

报告人：贺国珠

参加实验人员：

**CIAE:** 贺国珠，张奇玮，王晓宇，  
徐阔之，罗湔天，李倩

**CSNS:** 范睿睿，蒋伟

**USTC:** 曹平，谢立坤

- 一. 项目背景**
- 二. 实验测量**
- 三. 数据处理和结果**
- 四. 总结**

铯及铯-钼合金是空间堆重要的结构材料，相关核反应截面数据的精度在空间堆设计中有明确需求。

## ① 铯的物理性质

熔点高， $3180^{\circ}\text{C}$ ；  
冷热变换变形小。

## ② 铯及其合金在空间堆燃料元件结构设计中被大量应用。

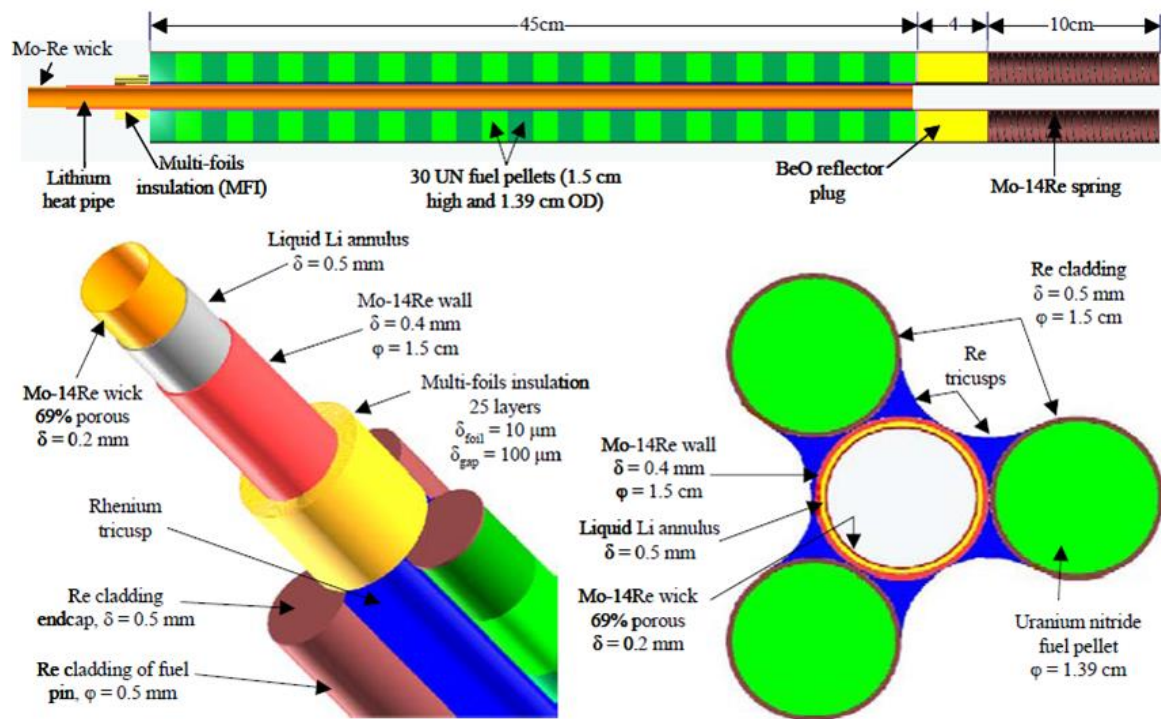


图1. 空间堆的燃料元件结构设计

- ③ 空间堆设计冗余小、精度高，对核反应截面数据精度的要求很高。在分别引用 ENDF 和 JEFF 的数据进行空间堆模拟时， $k_{\text{eff}}$  值分歧近 20%。

原因分析： $^{185}\text{Re}$ 和 $^{187}\text{Re}$ 的 $(n,\gamma)$ 与 $(n,n')$ 反应截面数据存在分歧。

- ④ 自然基金资助、面上项目。

## 1. 实验测量的原理方法

(n,γ)反应截面的在线瞬发γ射线测量方法。

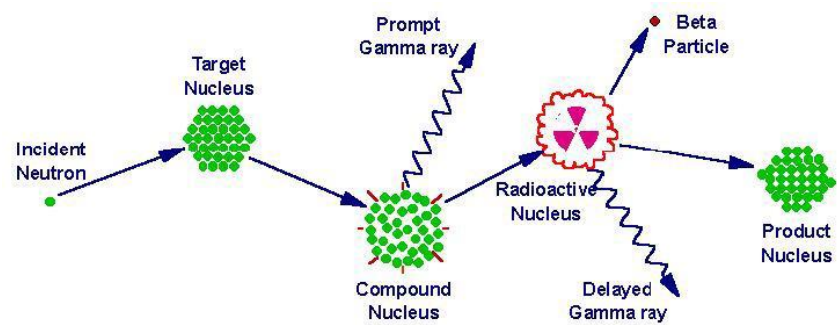


图2. (n,γ)反应

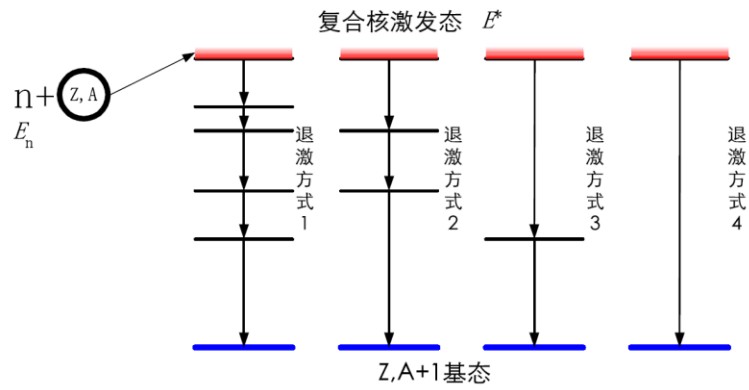


图3. 瞬发γ射线

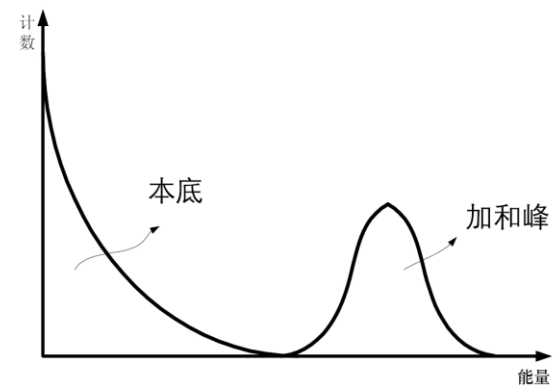


图4. 瞬发γ射线总能量谱

### 2. 中子源实验条件

CSNS Back-n, 双束团, 脉冲束(频率: 25Hz, 束流功率: 136kW), 实验厅2 (中子飞行距离: 75.9m, 0.3eV的中子飞行时间: 10.02ms), 束斑 $\Phi 30$ , 注量率:  $\times 10^7 \text{n/cm}^2$ .

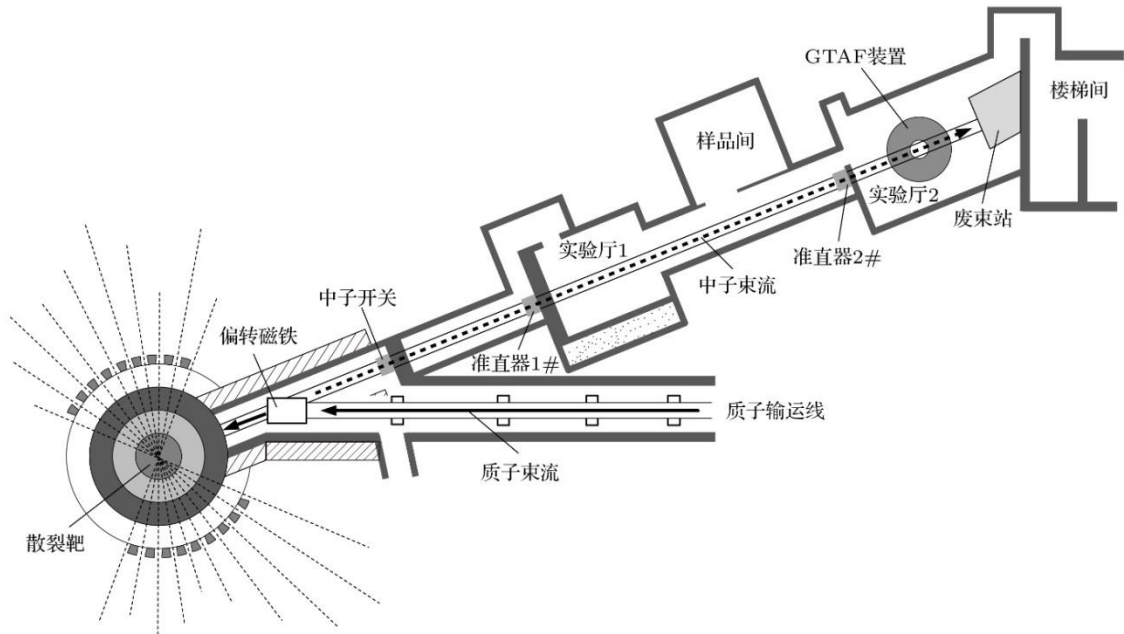


图5. CSNS Back-n

### 3. 实验测量设备

#### GTAF, $\gamma$ 射线全吸收型BaF<sub>2</sub>探测装置

GTAF的核心：内径200，外径500的BaF<sub>2</sub>晶体球壳，将BaF<sub>2</sub>分割成42块晶体单元（六棱形30块，五棱形12块），空出束流通过的两个位置，GTAF实际上由40个BaF<sub>2</sub>晶体探测器单元组成，以期对瞬发 $\gamma$ 射线实现近乎全吸收的测量。

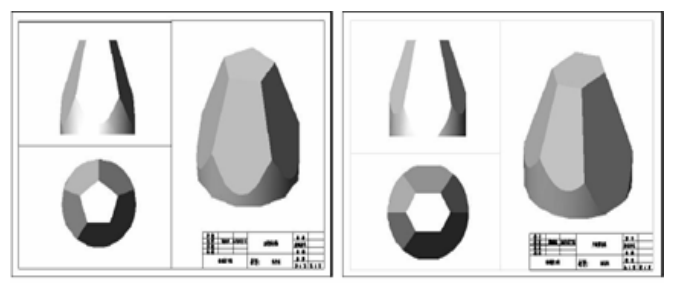
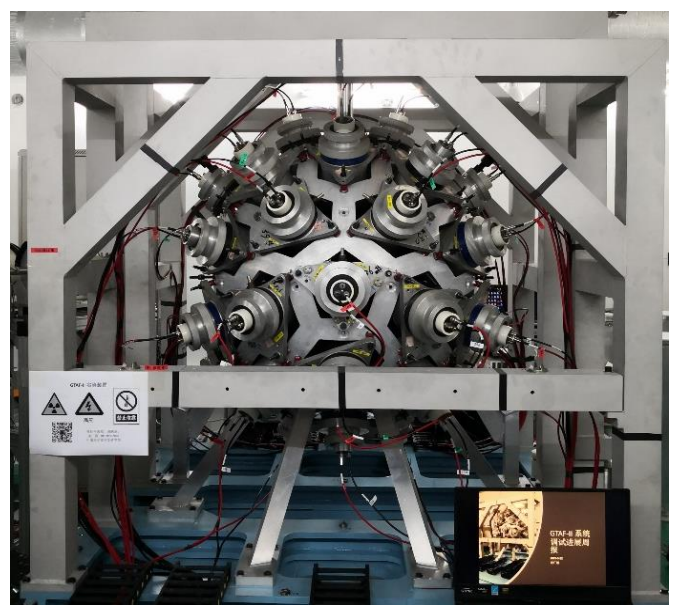


图6. GTAF

### 4. 电子学和数据获取

数字化全脉冲波形采集，Flash ADC的采样率为1GS/s，

分辨率为12Bit。

#### ① 模块插件

A. 触发时钟(TCM): 主从机箱间控制和数据交换。

B. 信号调理(SCM): BaF<sub>2</sub>探测器单元信号测量，信号调制。

C. 波形数字化(FDM): 波形数字化、触发条件和子触发等功能。

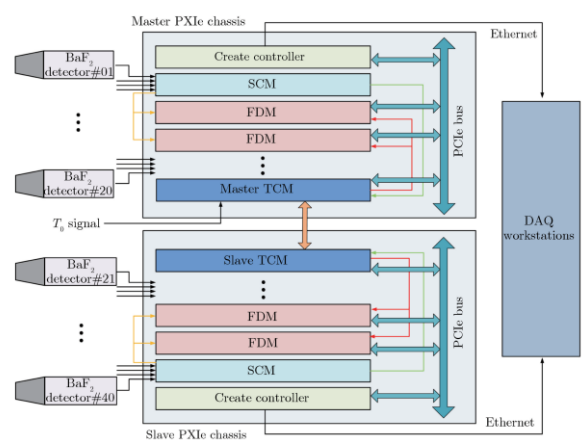


图7. 数字化信号测量和数据获取

TCM完成触发判选,满足触发条件的信号通过千兆网络传输到数据获取系统。



### ② 信号采集和数据传输时序

自触发的方式进行，用质子脉冲 $t_0$ 信号做为开门信号，单次开门周期内数据采集时间长度25ms。

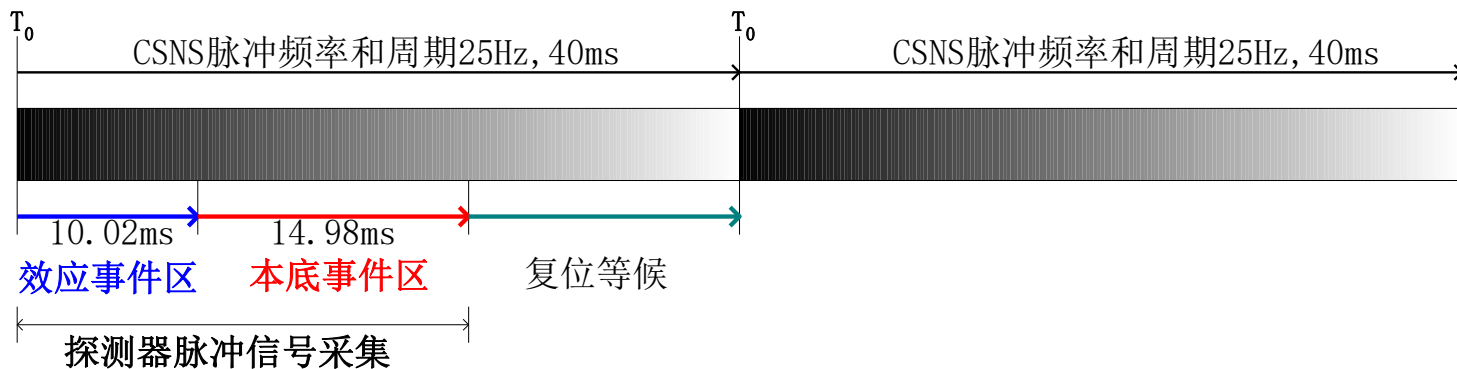


图7. 脉冲信号测量时序

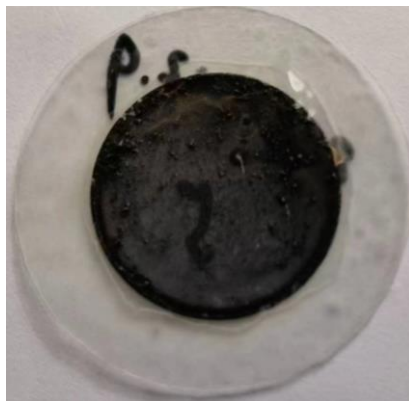
到实验厅2的样品位置，中子的飞行距离为75.9m，为避免能量过低中子进入下一采样周期对实验结果产生影响，实验时在束线上挡镅片，计算可知，0.3eV中子飞行约10.02ms，因此(n, $\gamma$ )反应事件的测量事件定在从 $T_0$ 开始的10.02ms时长内。

- ③ 基于FPGA的触发判选和数据采集的条件参数
- A. 阈值：21.7mV，信号幅度大于该值。
  - B. 多重数： $\geq 2$ ，在64ns的时间窗内，当有两个或更多通道的信号过阈才记录。
  - C. 单脉冲信号采集长度：2024ns，其中过阈前192nS，用于基线修正。
  - D. 开门信号：质子脉冲 $T_0$ 信号，做为开门信号，单周期采样时间持续25ms。

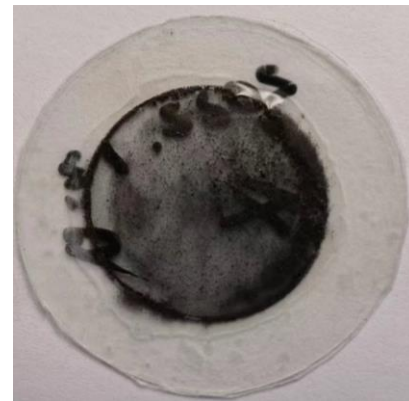
### 5. 实验测量用样品



天然Re样品  
 $0.124\text{mg}/\text{mm}^2$



$^{185}\text{Re}$ 样品(94.8%)  
 $0.198\text{mg}/\text{mm}^2$



$^{187}\text{Re}$ 样品(99.6%)  
 $0.187\text{mg}/\text{mm}^2$



Au样品厚度:  
 $0.2\text{mm}$



C样品厚度:  
 $2\text{mm}$



空白样品

## 1. Au样品的测量和数据处理

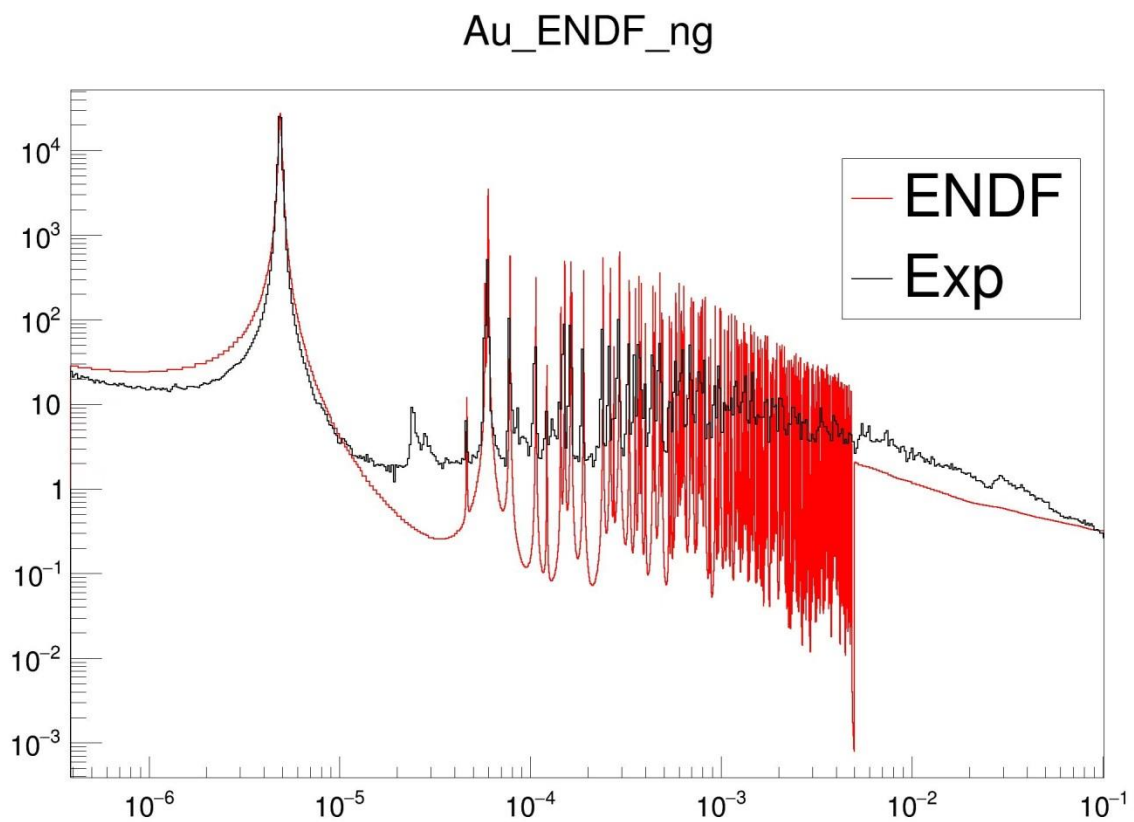


图8.  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应截面的实验数据和评价曲线比对

## 2. $^{185}\text{Re}$ 样品的测量和数据处理

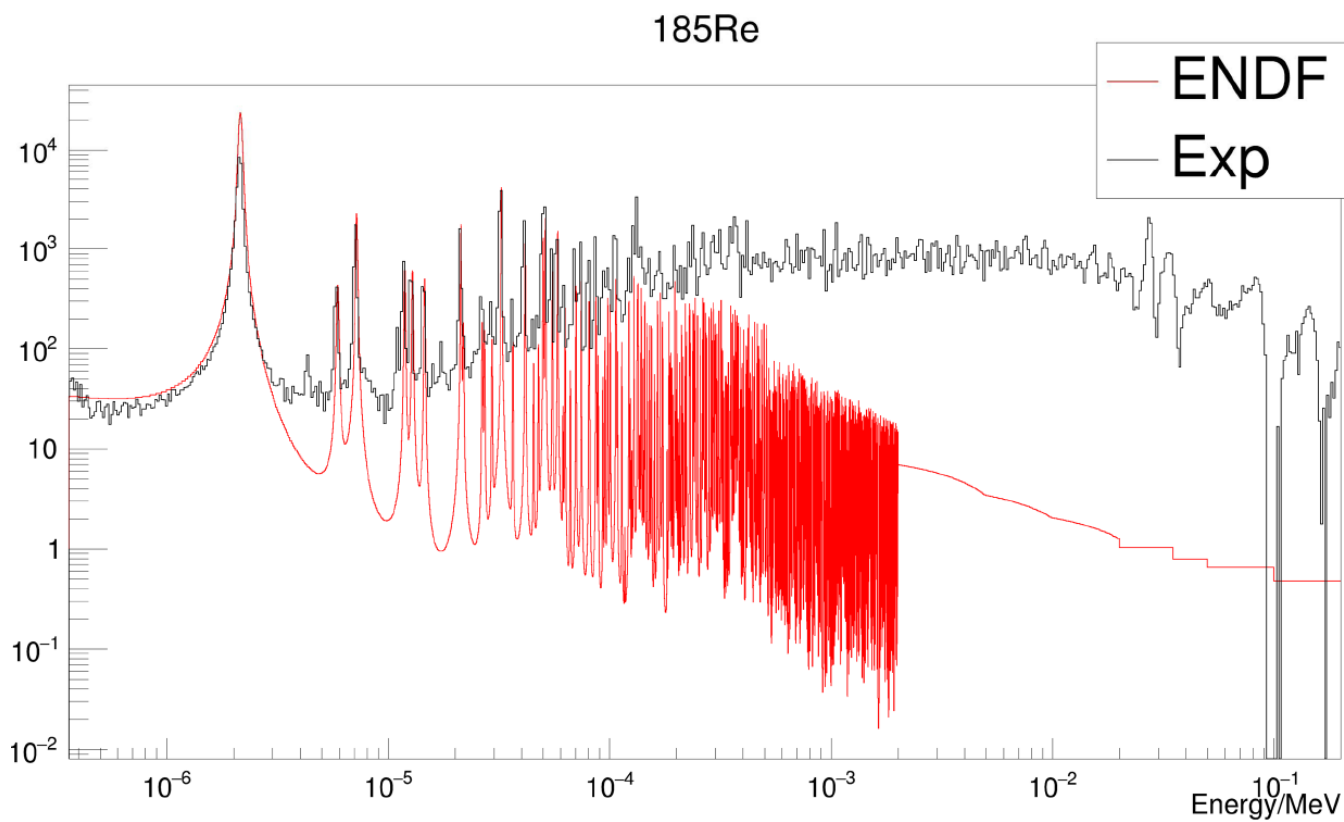


图9.  $^{185}\text{Re}(n,\gamma)^{186}\text{Re}$ 反应截的实验数据和评价曲线比对

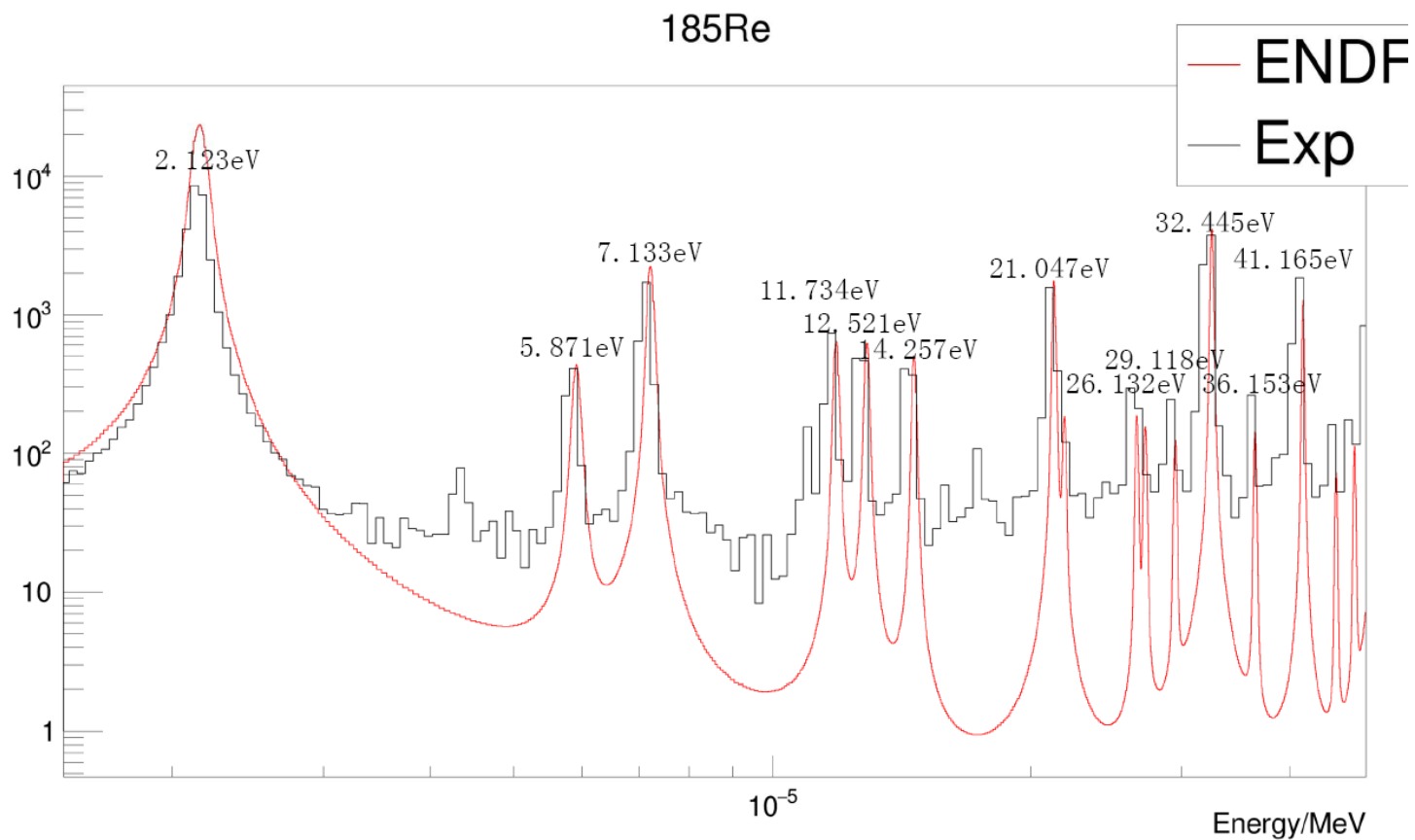


图9. 可分辨共振区  $^{185}\text{Re}(n,\gamma)^{186}\text{Re}$  反应截的实验数据和评价曲线比对

## 3. $^{187}\text{Re}$ 样品的测量和数据处理

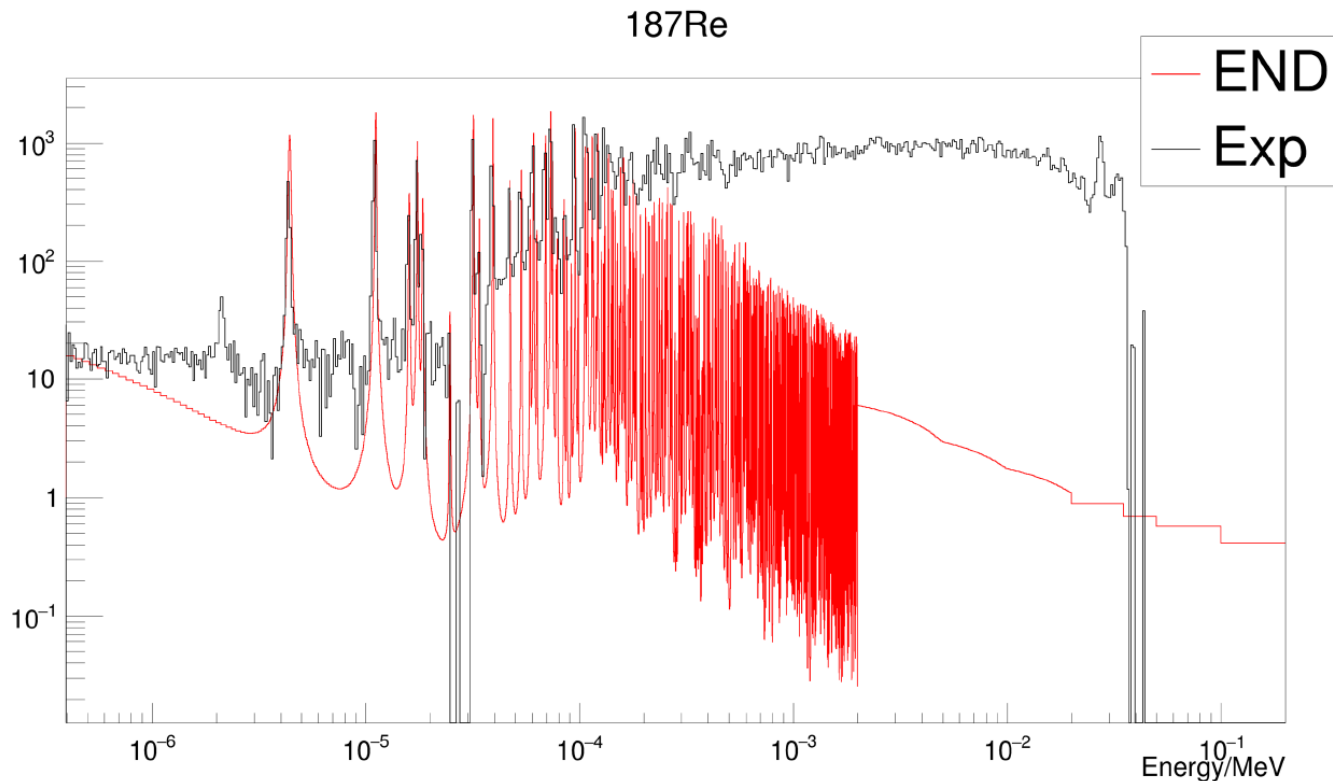


图10.  $^{187}\text{Re}(n,\gamma)^{188}\text{Re}$ 反应截面的实验数据和评价曲线比对

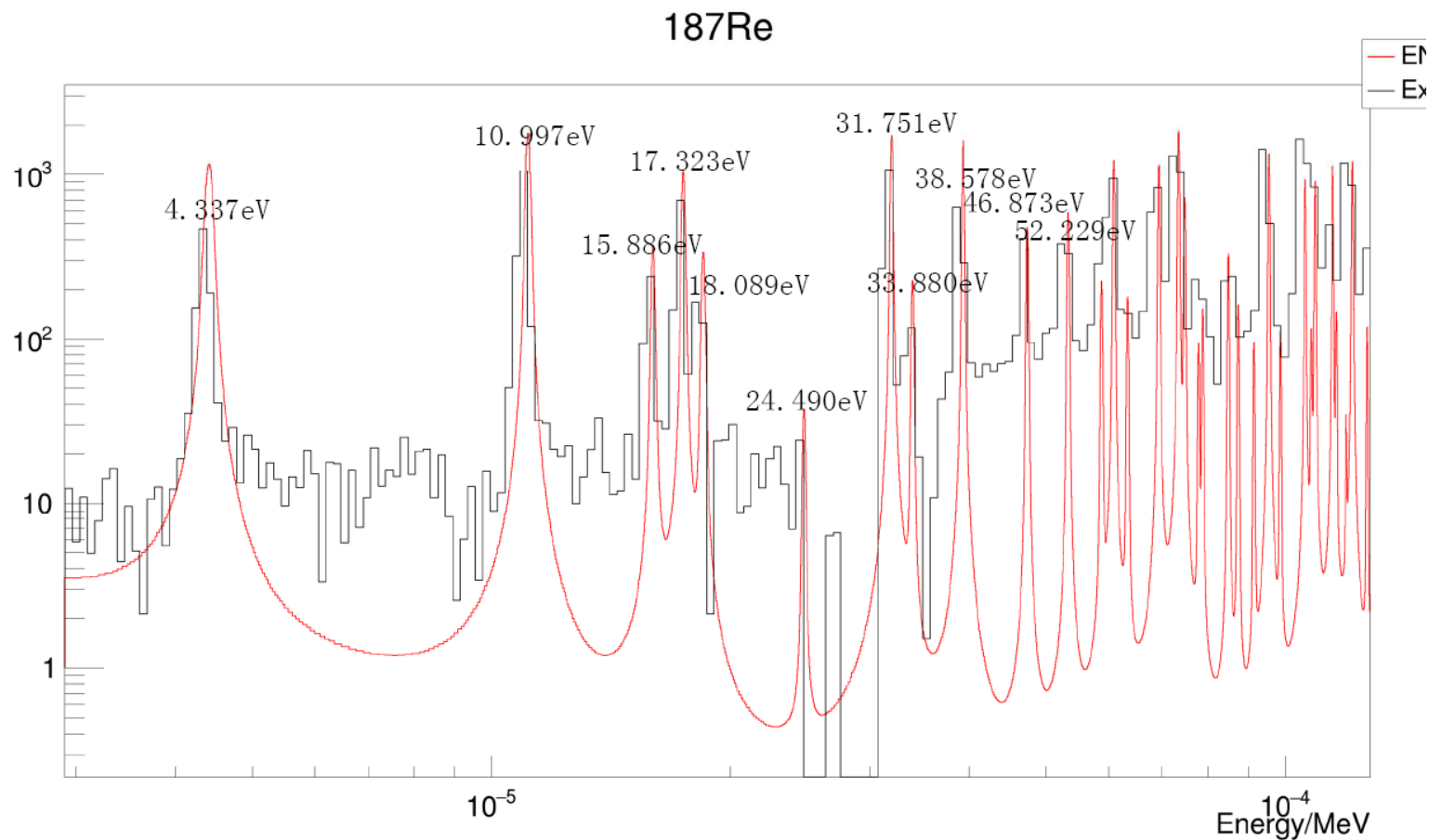


图10. 可分辨共振区 $^{187}\text{Re}(n,\gamma)^{188}\text{Re}$ 反应截面的实验数据和评价曲线比对



### 1. 实验取得了部分结果

- ① 实施了 $^{185}\text{Re}$ 和 $^{187}\text{Re}$ 的小量样品的实验测量。
- ② 可分辨共振峰明确且数据初步可得。
- ③ 为后续实验研究积累了经验。

### 2. 存在和需要改进的问题

- ① 环境本底的问题。
- ② 束内本底的问题。
- ③ 数据处理相关问题。

### 3. 进一步计划

- ① 加强环境本底，束内本底压低的措施。
- ② 完善样品以及优化实验测量方案。
- ③ 已经申请第二次实验的束流时间（300小时，单束团？）。

感谢

CIAE, CSNS, USTC所有实  
验参与者的辛苦付出!

欢迎指正!

