

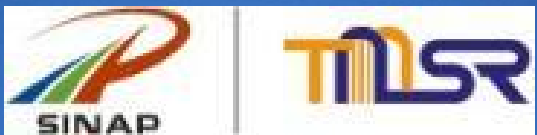
CSNS 反角白光中子实验装置（第十届）用户研讨会

基于FIXM的 ^{232}Th 中子诱发裂变 截面实验研究

邱奕嘉，陈永浩，任智洲

1. 中国科学院上海应用物理研究所
2. 中国科学院高能物理研究所
3. 中国工程物理研究院核物理与化学研究所





目录

CONTENTS

01

研究动机

02

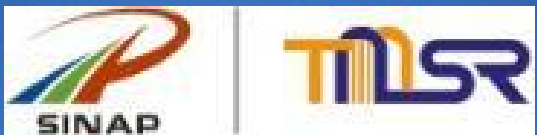
实验配置

03

测量结果

04

总结与展望



目录

CONTENTS

01

研究动机

02

实验配置

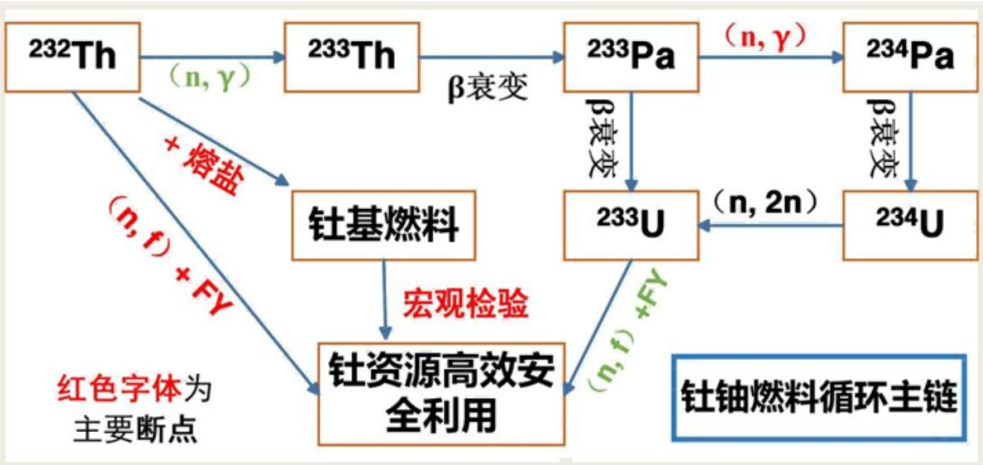
03

测量结果

04

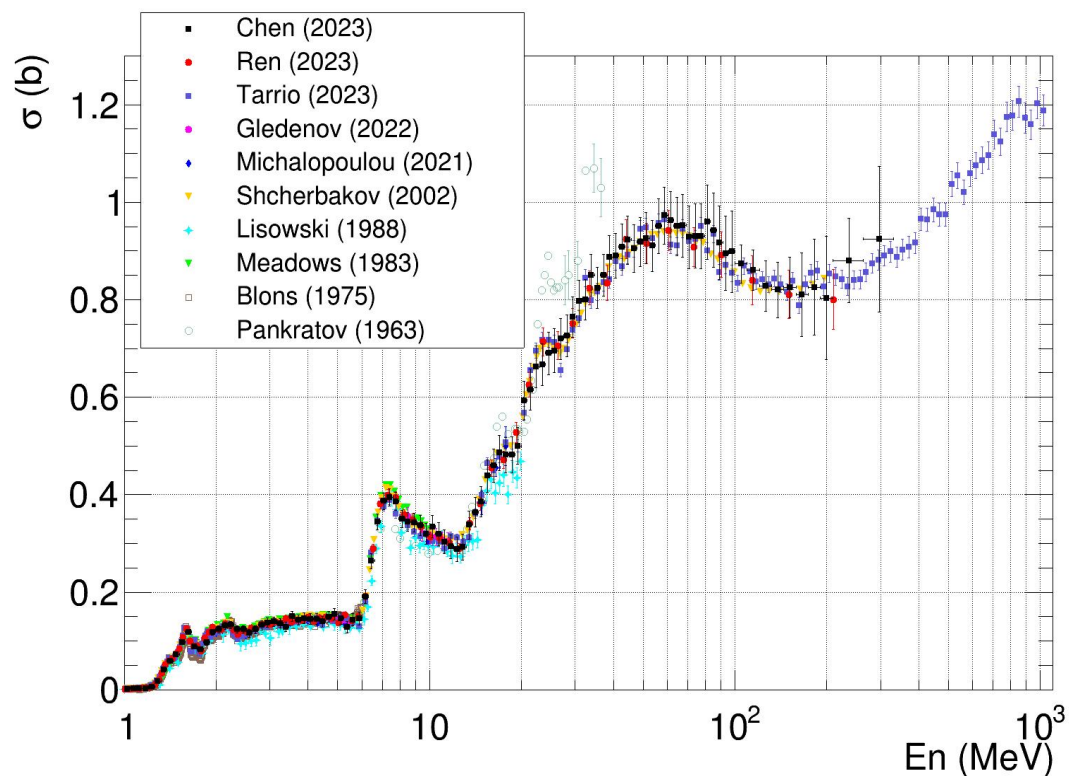
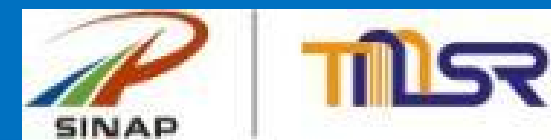
总结与展望

$^{232}\text{Th}(n,f)$ 截面：钍铀循环关键核数据



能量范围	能量范围	截面特点	核心测量难点
裂变阈值区	约1.0 MeV	阈值附近截面极低，随能量上升快速增大	低截面导致裂变事件计数少，统计误差大
快中子能区	1.3–20 MeV	截面随能量波动	中子能区存在共振结构，需高能量分辨率
高能中子能区	>20 MeV	截面随能量先缓慢下降后缓慢上升	高能中子源强度低 能量分辨困难

$^{232}\text{Th}(n,f)$ 截面研究现状



最新发表的3组基于**白光中子源(中子飞行时间技术)**的实验数据:

国内:
国外:

1. 陈永浩等, PLB (2023) **839**: 137832 – **CSNS Back-n**
2. 任智洲等, NST (2023) **34**: 115 – **CSNS Back-n**
3. D. Tarrío et al., PRC (2023) **107**: 044616 – **CERN n_TOF**

	误差	
	1 MeV附近	10 MeV附近
陈永浩等	23.7%	6.9%
任智洲等	33.4%	3.3%
D. Tarrío et al.	21.1%	2.7%

最新测量结果中，多个能点误差仍然较大，需要进一步开展精确测量，提高关键数据精度！

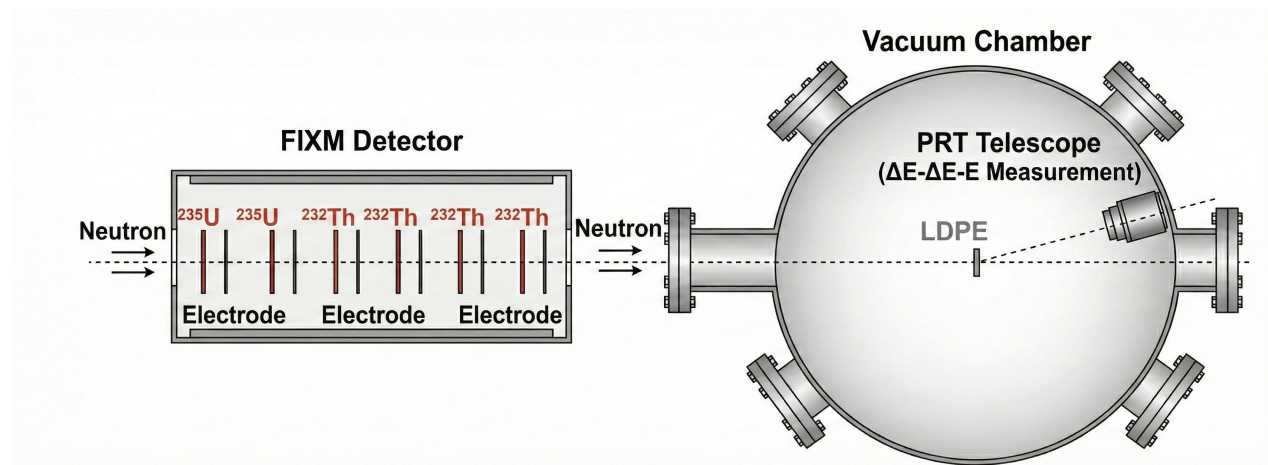
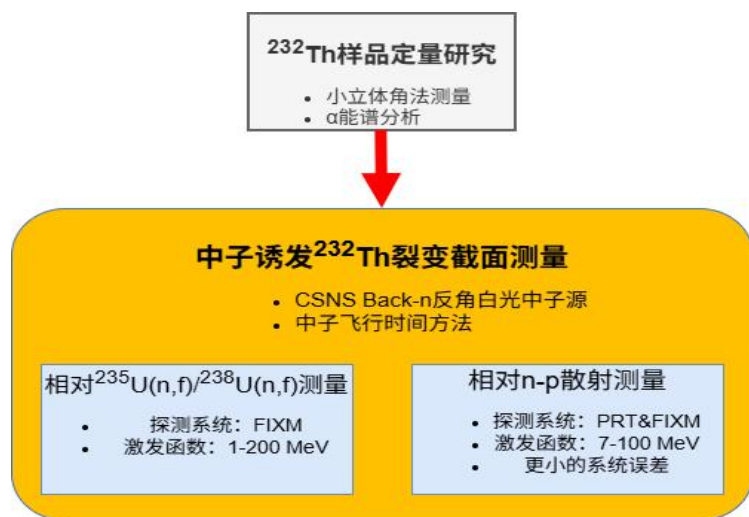
国家重点研发计划, 钍铀循环关键核数据测量

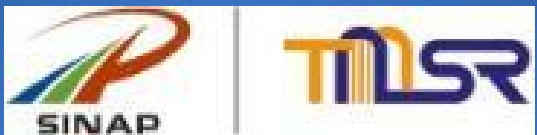
研究目标： 基于CSNS Back-n，开展 1-200 MeV 宽能区 裂变截面的高精度测量研究

- 获取1-200 MeV能区的裂变激发函数曲线
- 重点解决钍基熔盐堆设计中关键能点（特别是 **1 MeV** 和 **10 MeV** 附近）截面数据精度不足的问题

研究内容： 采用中子飞行时间法（TOF）进行测量，并实施多标准截面联合测量策略以降低系统误差

- 采用 $^{235}\text{U}(\text{n}, \text{f})$ 和 $^{238}\text{U}(\text{n}, \text{f})$ 作为参考标准
- 重点引入 **n-p 弹性散射截面** ($^1\text{H}(\text{n}, \text{n})$) 作为参考标准
- 最终通过加权平均得到精确的裂变截面数据





目录

CONTENTS

01

研究动机

02

实验配置

03

测量结果

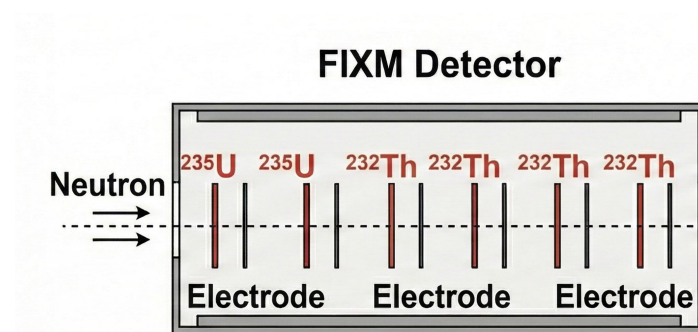
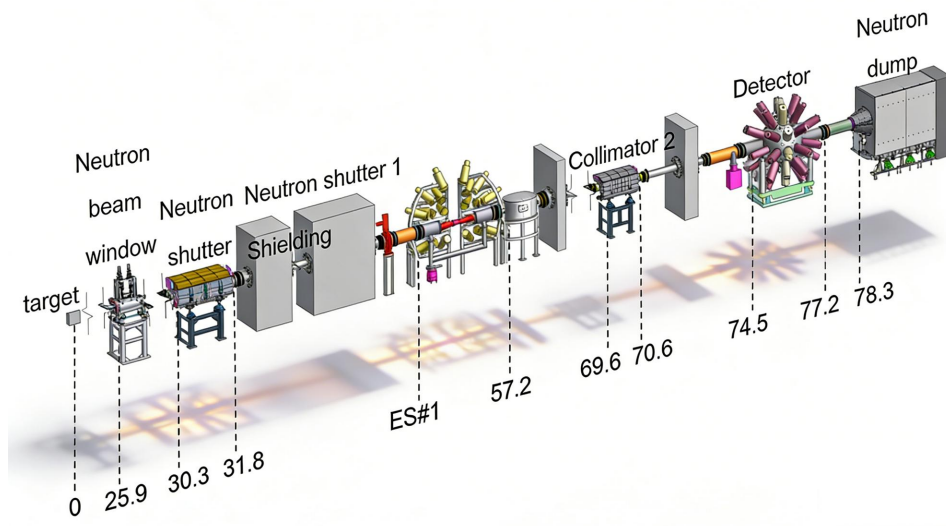
04

总结与展望

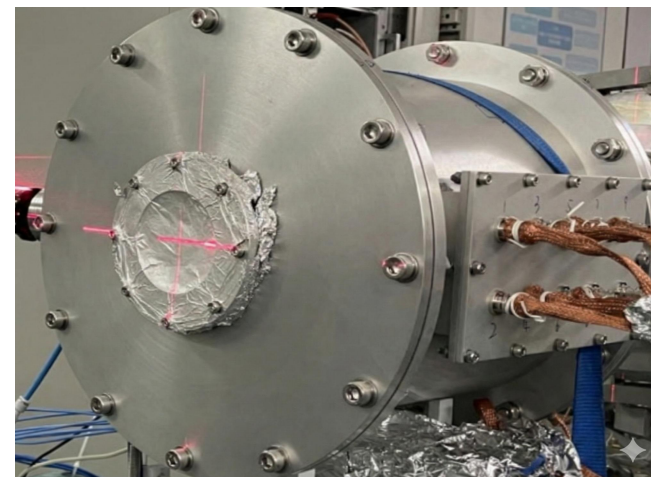
本次实验实验条件

2025年5月，采用FIXM开展**第一轮裂变截面测量实验**：

- 相对 $^{235}\text{U}(n, f)$ 截面测量
- 中子束斑：606060
- 飞行距离：~55 m@ES#1
- 束流条件：**单束团**@95kW|25Hz
- 测量时间：~60 h

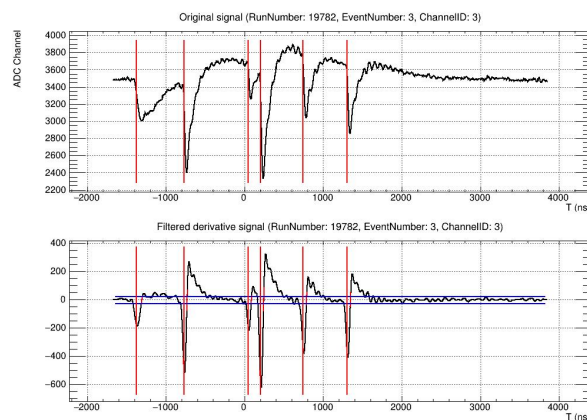
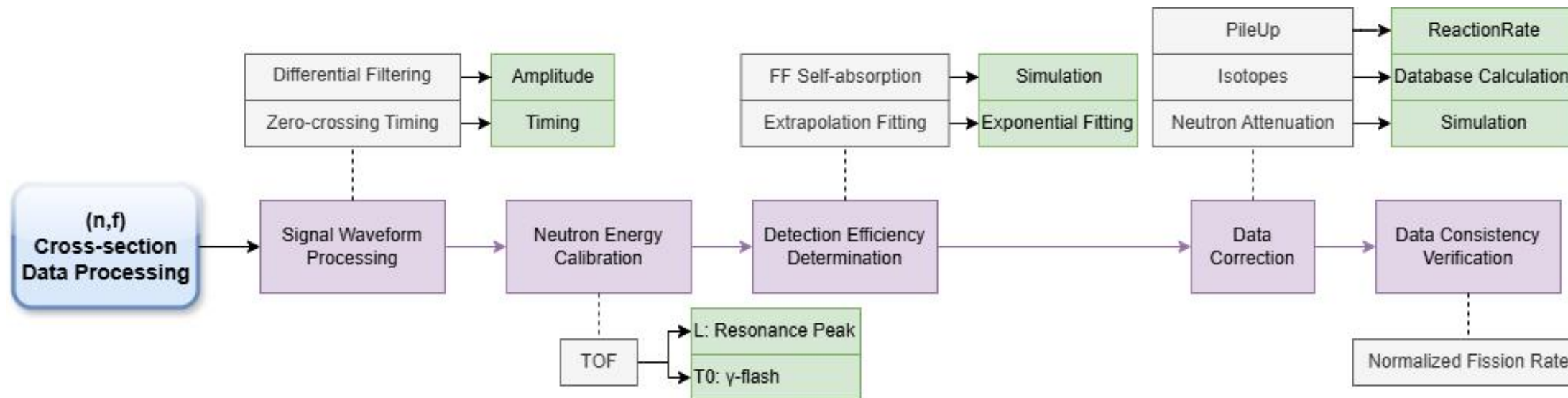


FIXM载靶示意图
2片 ^{235}U +4片 ^{232}Th

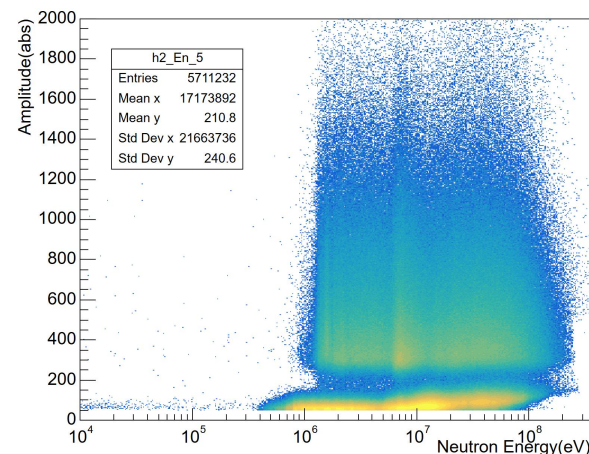


FIXM

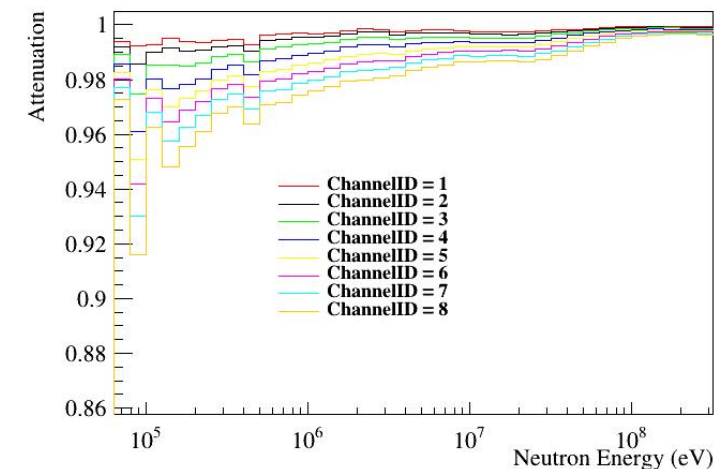
已建立从原始波形到最终截面的完整数据处理，确保数据质量



滤波

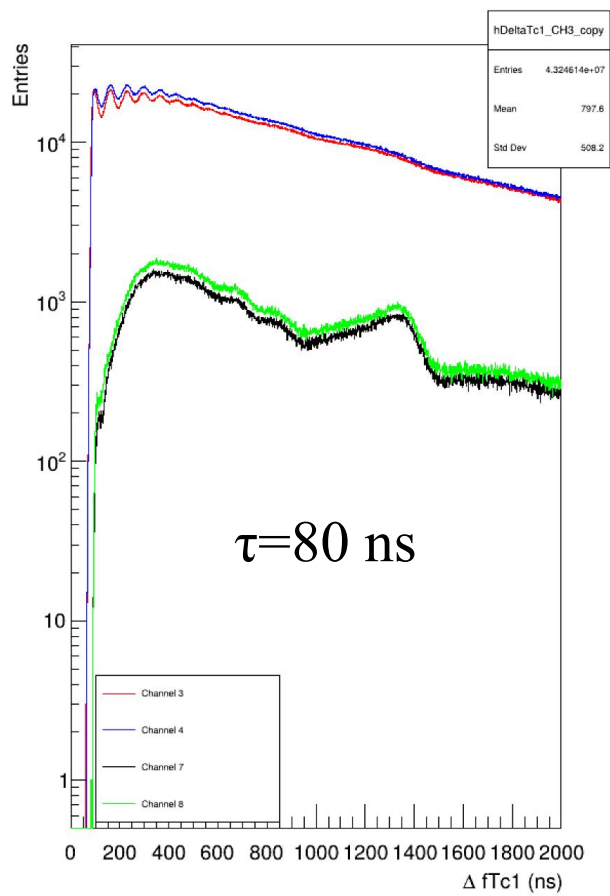


中子能量-信号幅度二维谱



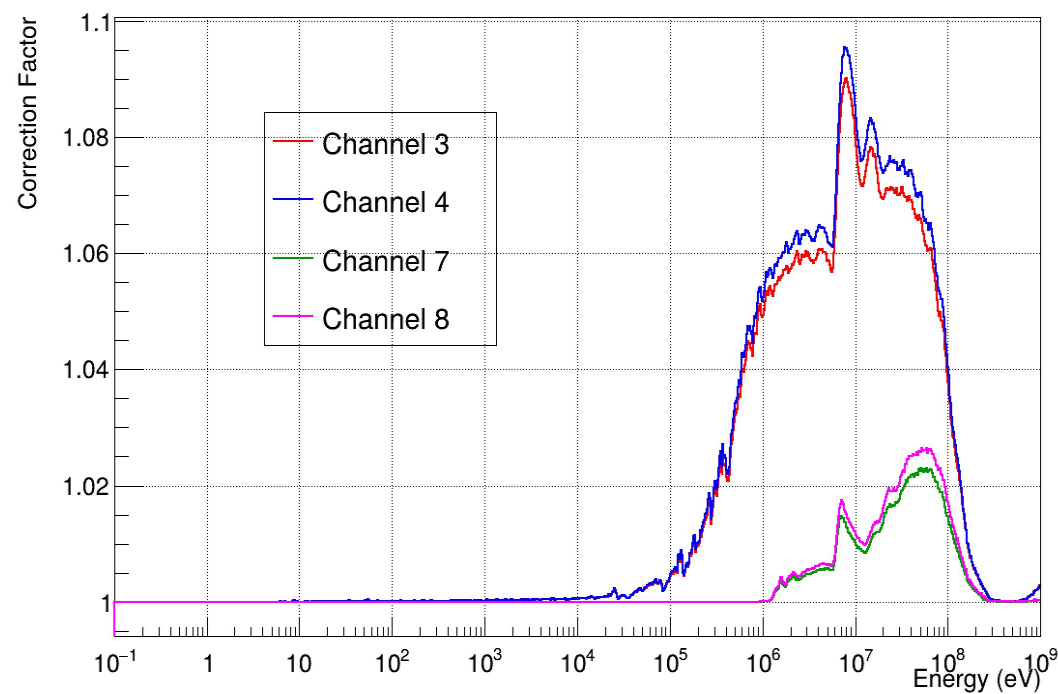
裂变电离室中子衰减

- 通过前后信号差评估堆积时间常数
- 堆积修正因子最大约为11%



信号前后时间差

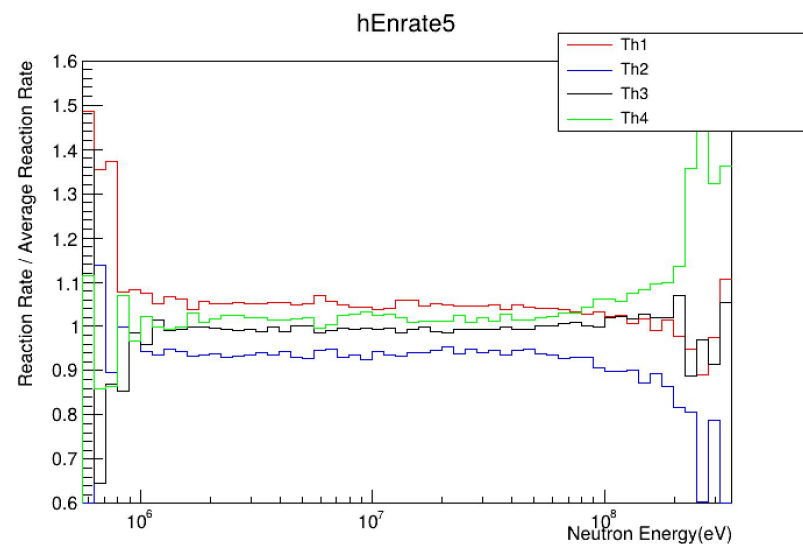
$$f_{dt} = \frac{1}{1 - \tau N_i}$$



信号堆积

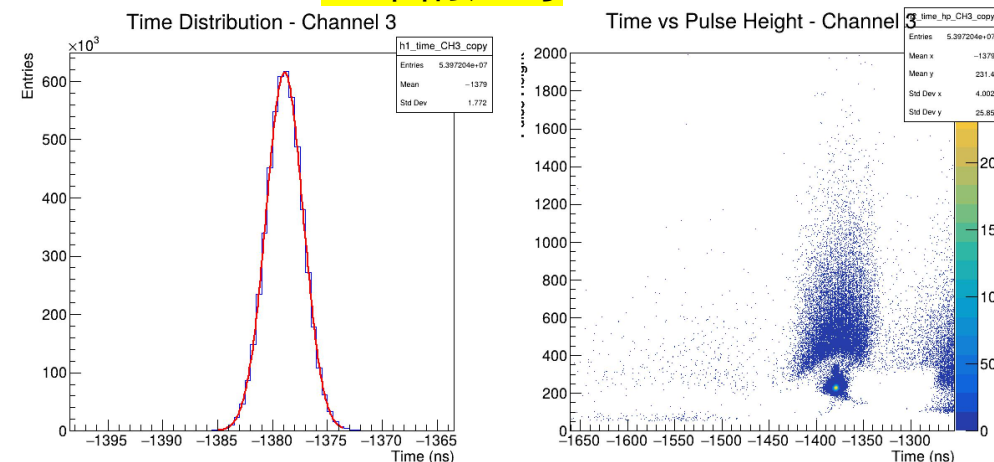
定时问题：高能区一致性随能量变化

- 舍弃其中两片数据

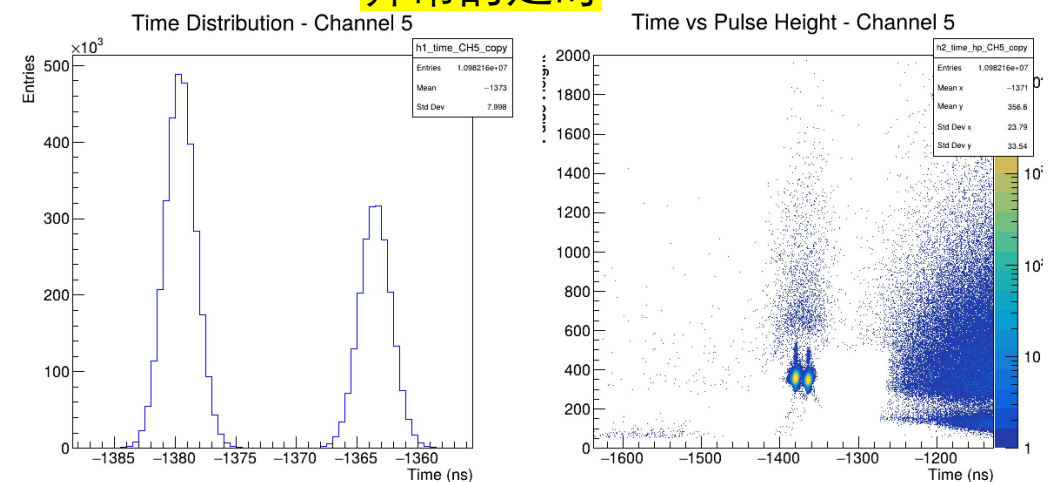


Th数据一致性验证

正常的定时

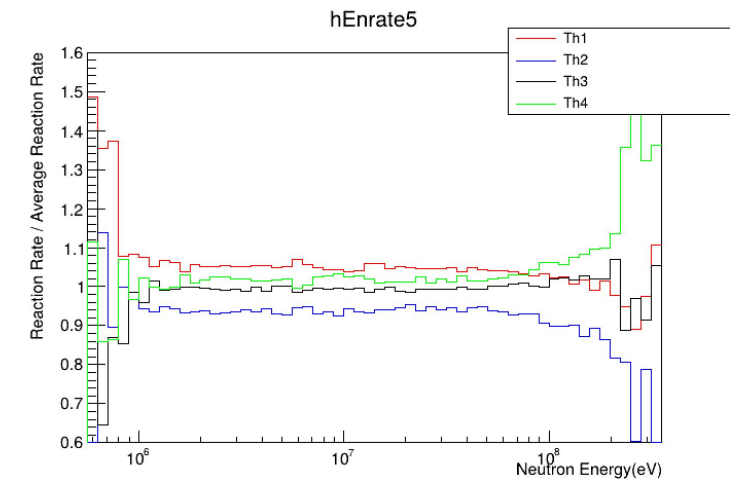


异常的定时

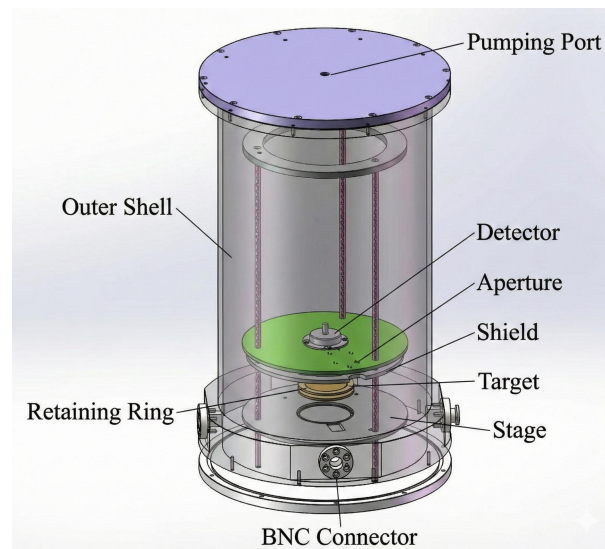


靶样品定量问题：样品之前定量与实验结果不符合，最大偏差10%以上

- 研制专用的小立体角测量装置进行绝对测量



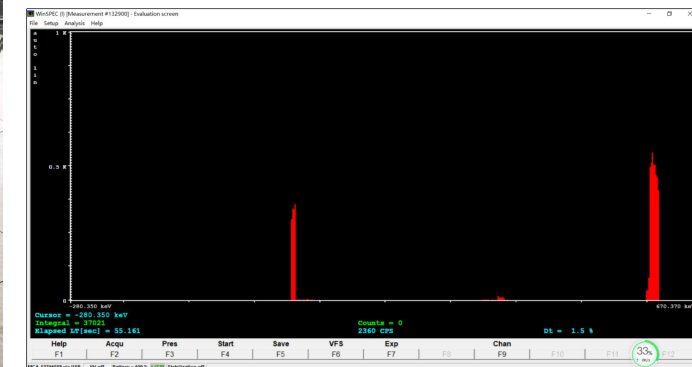
小立体角用硅探测器



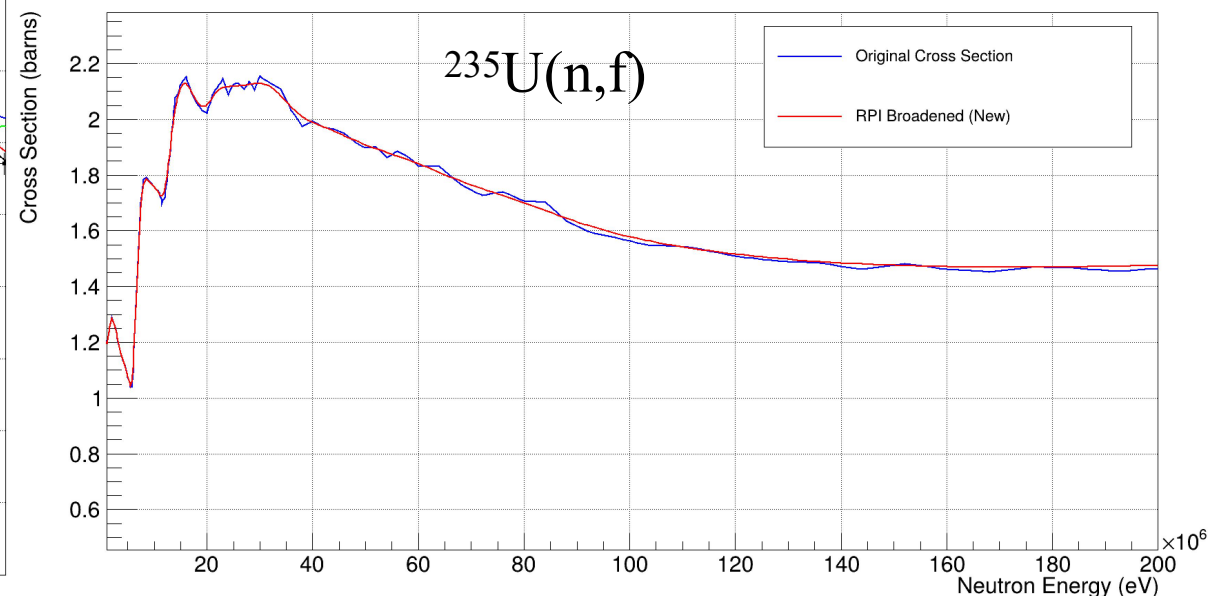
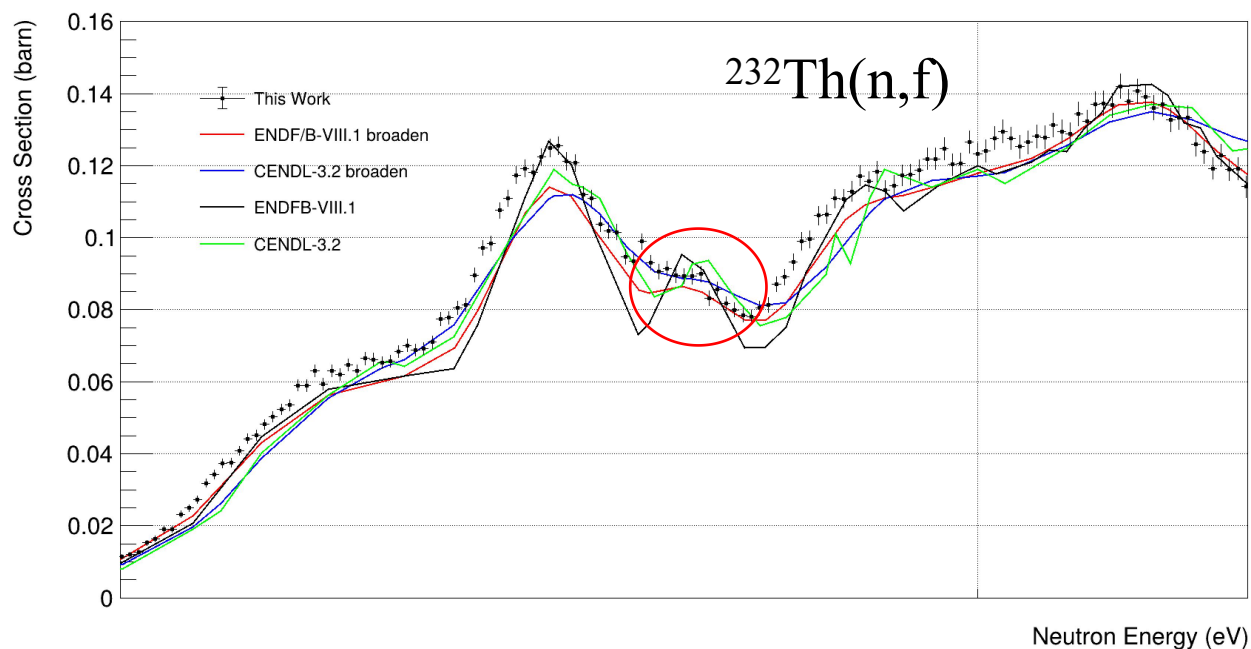
小立体角装置



小立体角真空测试



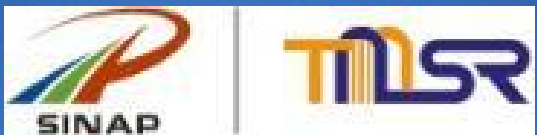
多道系统测试



$$\Phi_E(t) = I_1(t_1) \otimes I_2(t_2) \otimes I_3(t_3)$$

$$\bar{\sigma}(E) = \int I'(t(E) - t') \sigma(E'(t')) dt'$$

- 在MeV能区能量分辨主要受质子束团脉冲宽度的影响
- 卷积高斯函数对截面进行展宽，质子脉冲标准差：25 ns
- 受限于能量分辨，目前无法测得1.8MeV的共振峰



目录

CONTENTS

01

研究动机

02

实验配置

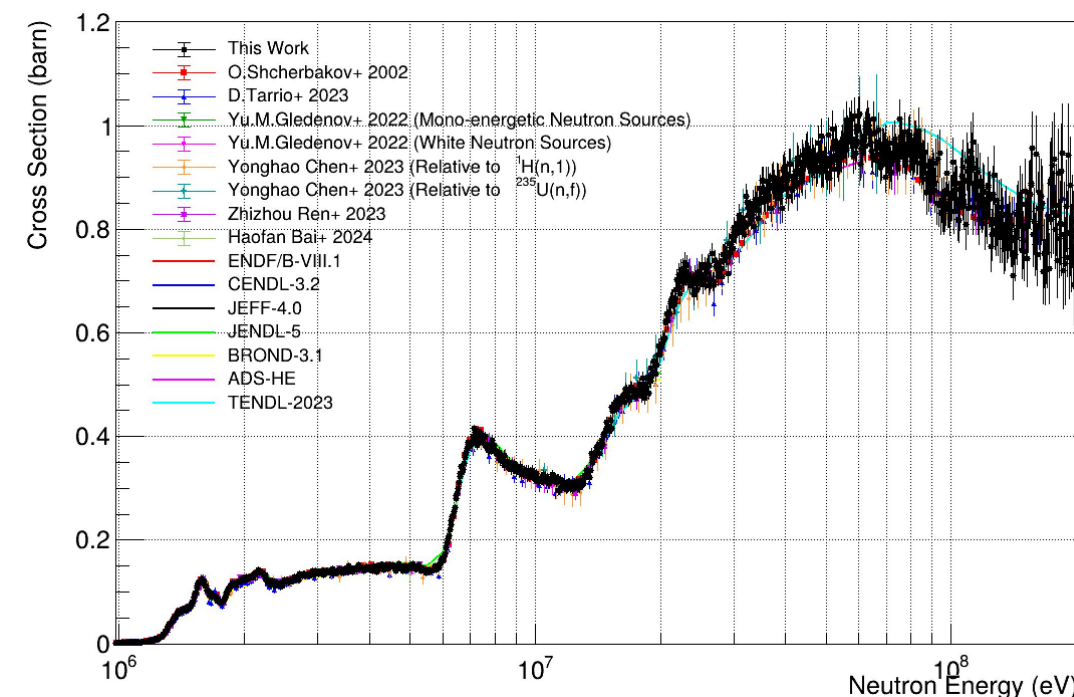
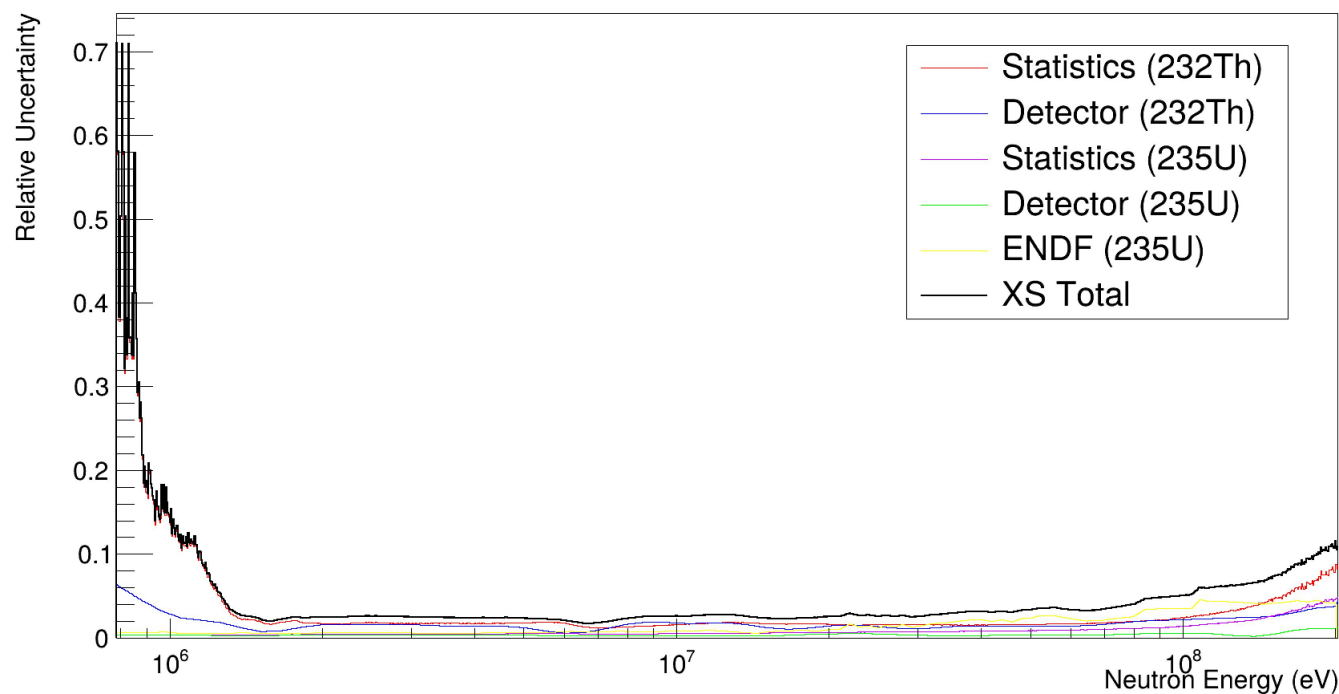
03

测量结果

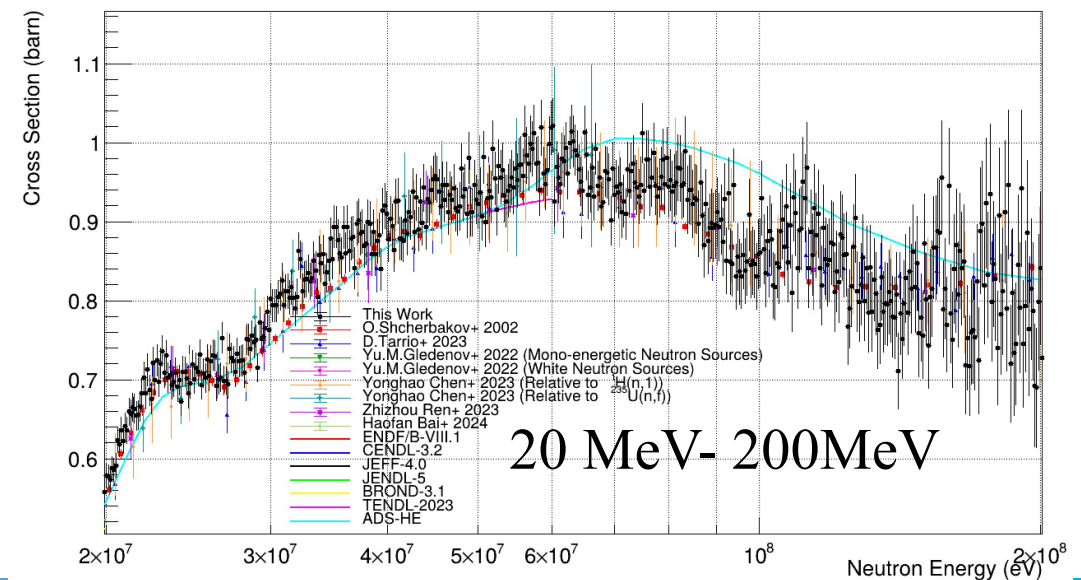
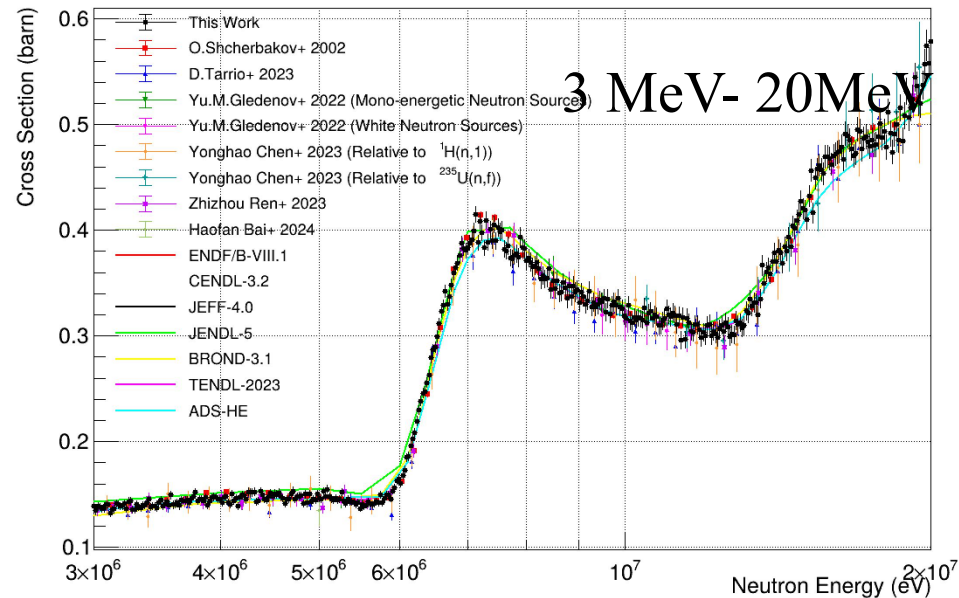
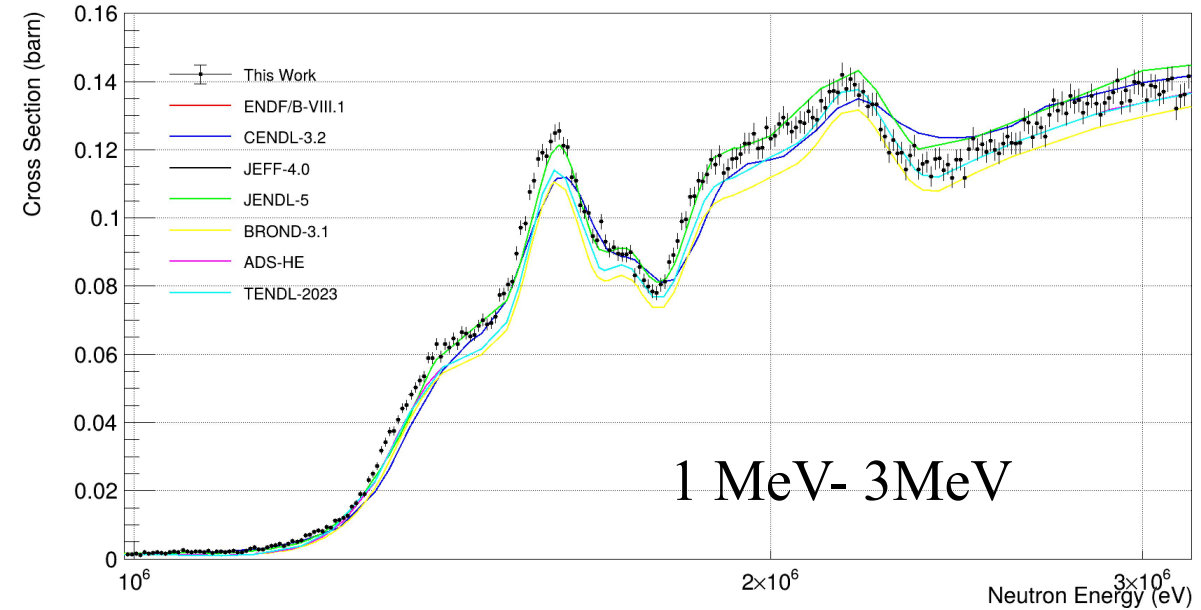
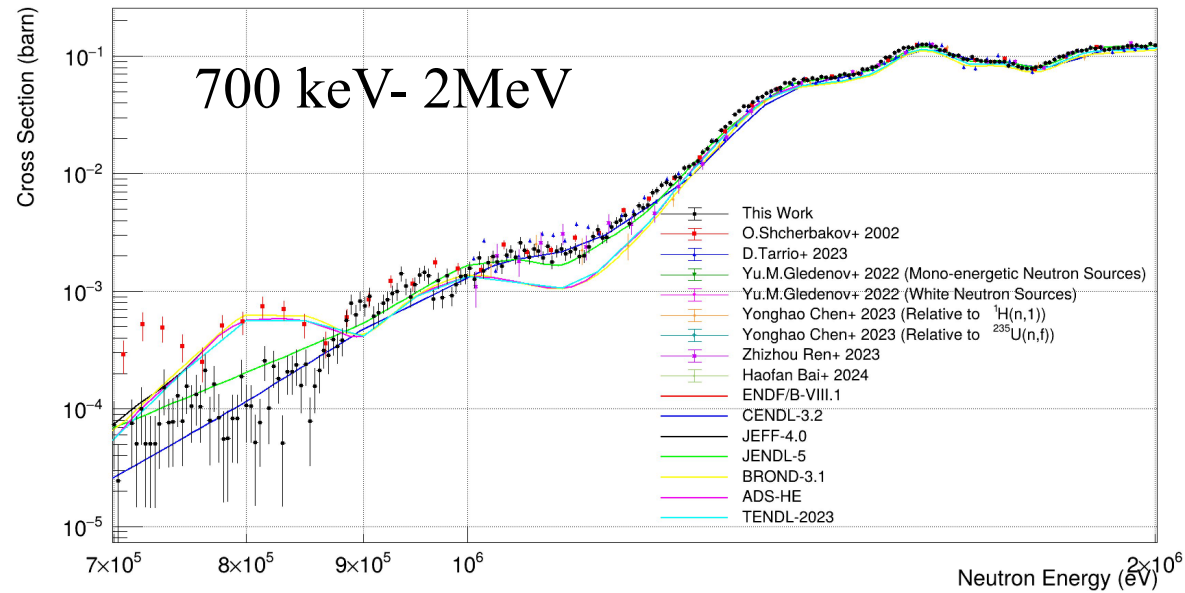
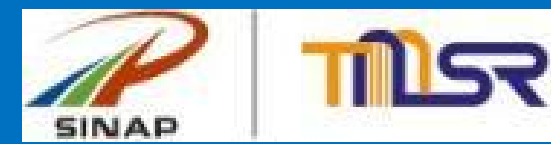
04

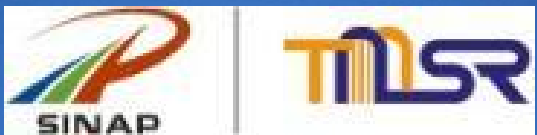
总结与展望

- 激发函数：初步得到 1-200 MeV 范围内的裂变激发函数曲线。
- 精度评估：在 500 bpd 分组 (bin) 下，统计不确定度整体约 **15%**，最优处达到约**4%**。



截面测量实验结果





目录

CONTENTS

01

研究动机

02

实验配置

03

测量结果

04

总结与展望

总结

- 初步给出1-200MeV ^{232}Th 中子诱发裂变反应截面
- 在 500 bpd 分bin下, 统计不确定度整体约 15%, 最优处达到约4%

存在问题

- 信号堆积, 95kW达到10%
- 受限于能量分辨, 快中子能区的小共振峰无法实现

后续计划

- 完成样品的重新定量
- 结合裂变电离室和 ΔE - ΔE -E反冲质子望远镜, 增加以n-p散射以及 $^{238}\text{U}(n,f)$ 标准截面为参考的 ^{232}Th 裂变截面测量



感谢聆听 敬请批评指正

