



# ${}^6\text{Li}(\text{n},\text{t}){}^4\text{He}$ 反应截面测量工作进展

苏学斗<sup>1</sup> 黄勃松<sup>1</sup> 姜炳<sup>2</sup> 蒋伟<sup>3</sup>

1. 中国科学院上海应用物理研究所

2. 南华大学

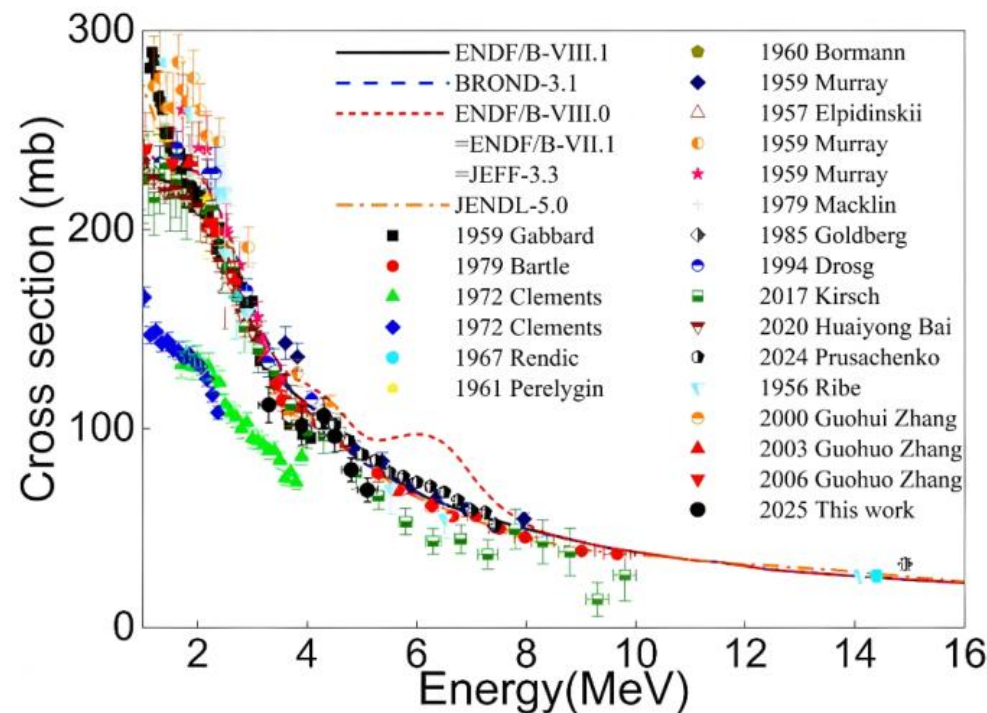
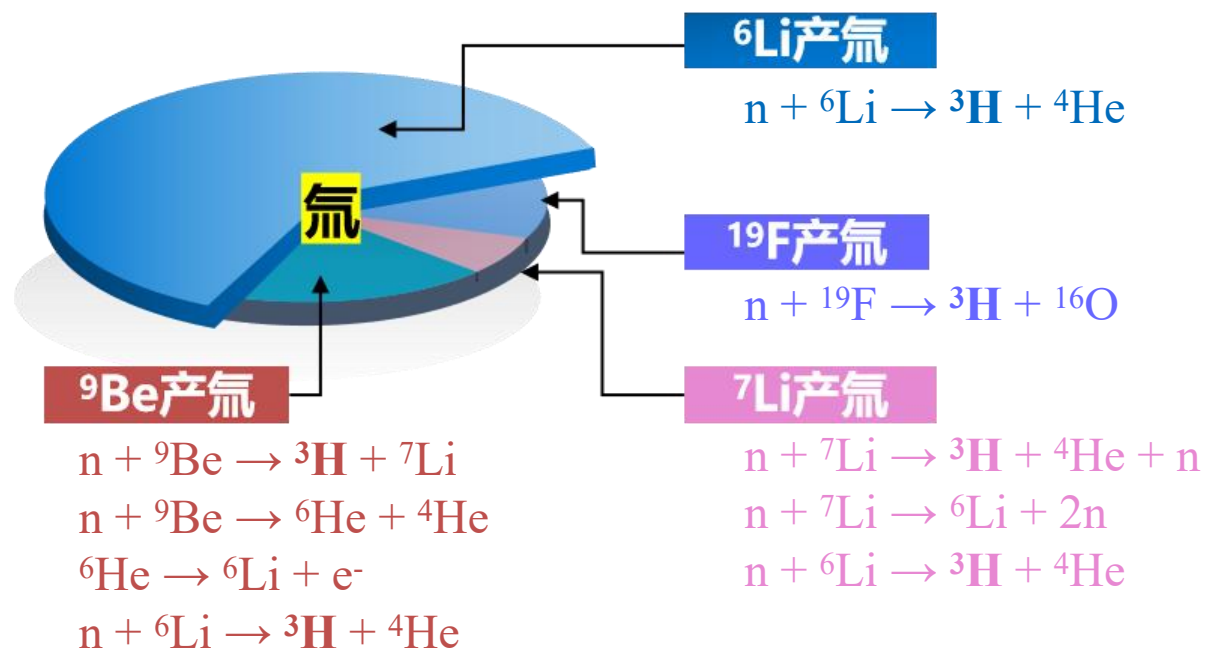
3. 中国散裂中子源

# 目录

- 01 研究背景
- 02 实验方案
- 03 初步数据分析
- 04 总结



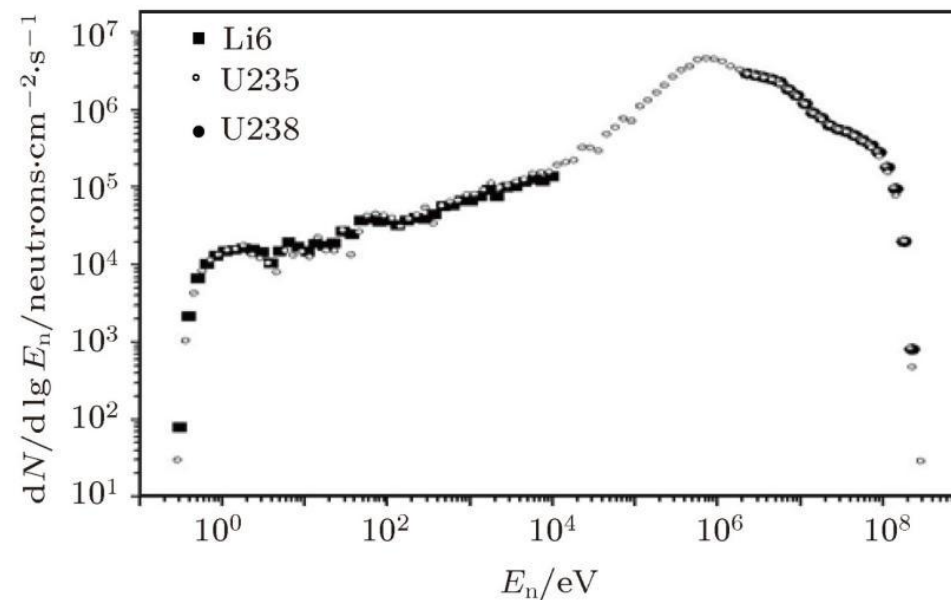
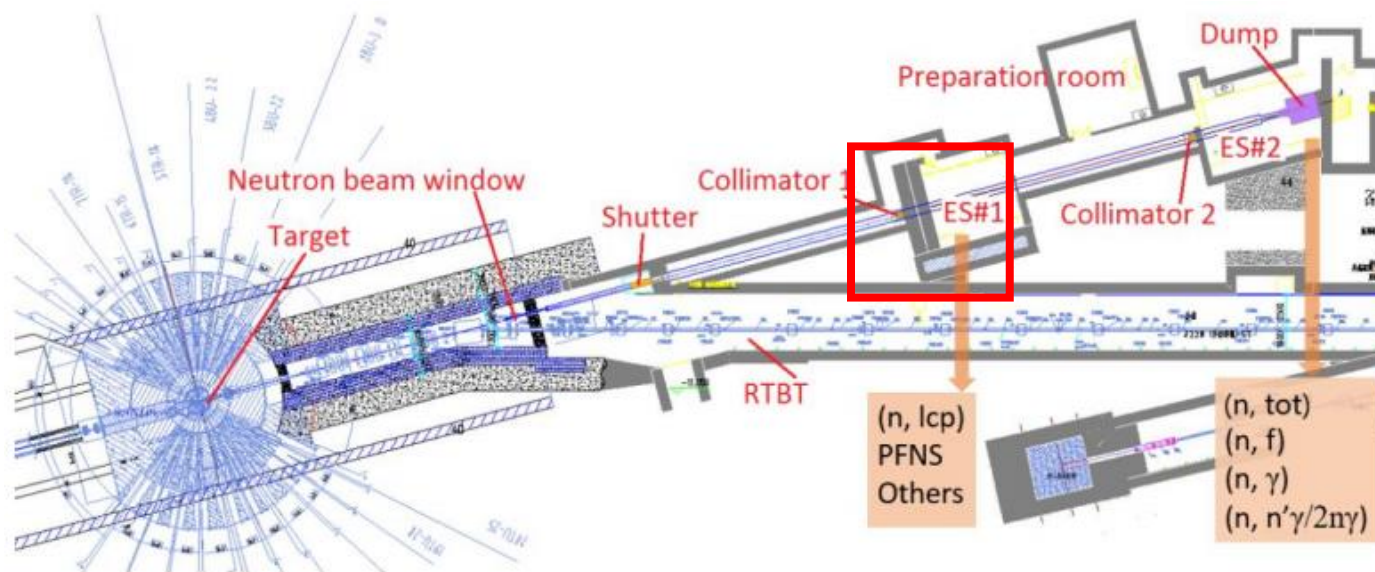
- ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$  反应：聚变能与先进核能系统中的关键产氚反应、中子探测与核数据标准的基础工具、轻核反应机制研究的理想模型。
- 中高能区  ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$  反应截面实验数据以及数据库评价数据间存在分歧。



## 中国散裂中子源反角白光中子实验装置

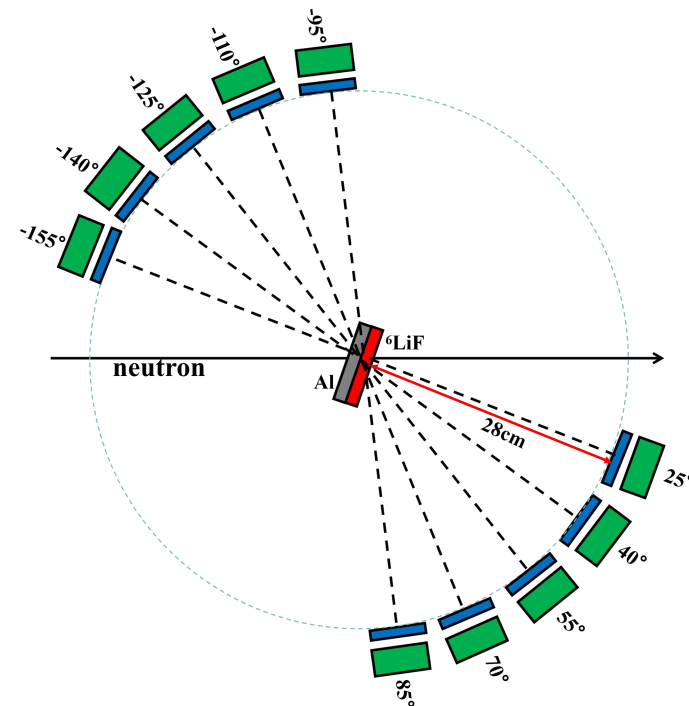
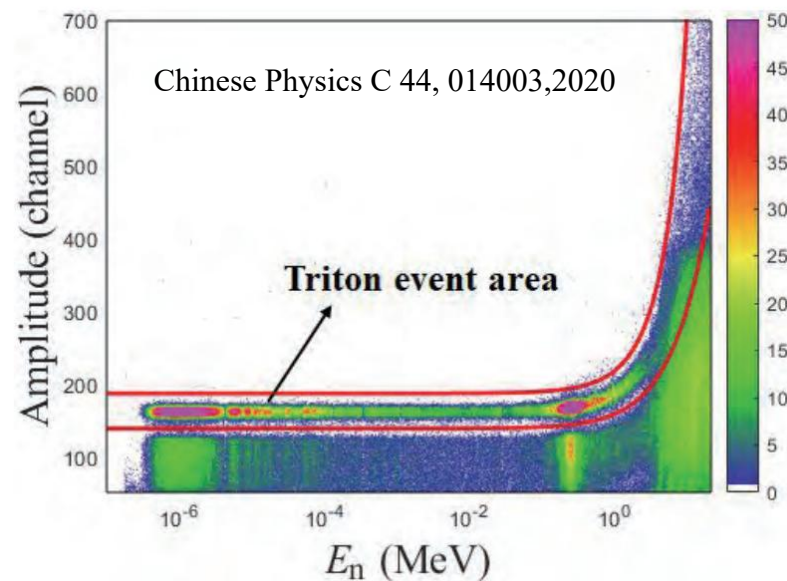
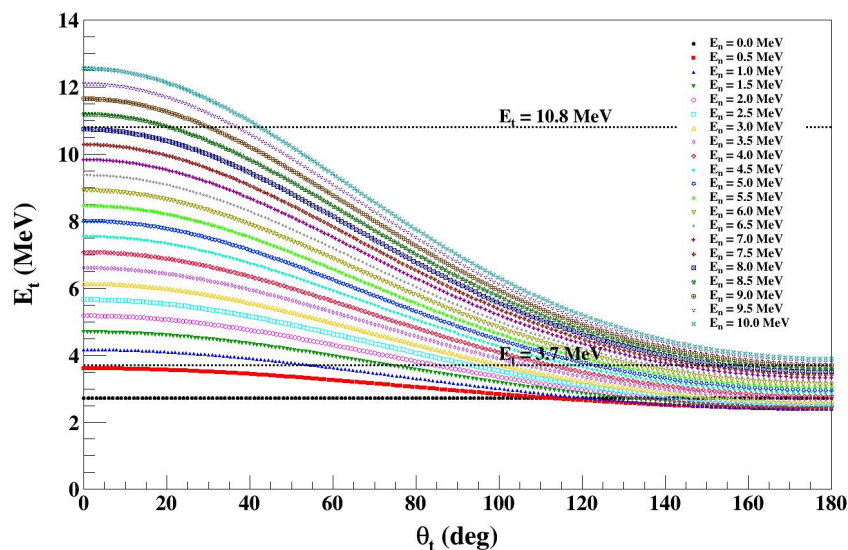
- 中子通量密度:  $1.6 \times 10^7$  n/cm<sup>2</sup>/s
- 中子能量范围: 0.3 eV - 300 MeV
- 厅1

- 核物理研究、核数据测量
- 中子辐照/单粒子效应研究
- 核技术应用 (共振照相、成分分析)
- 探测器刻度



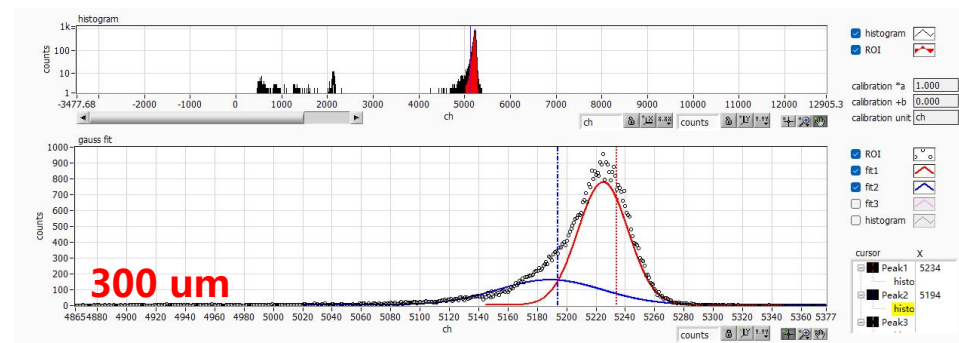
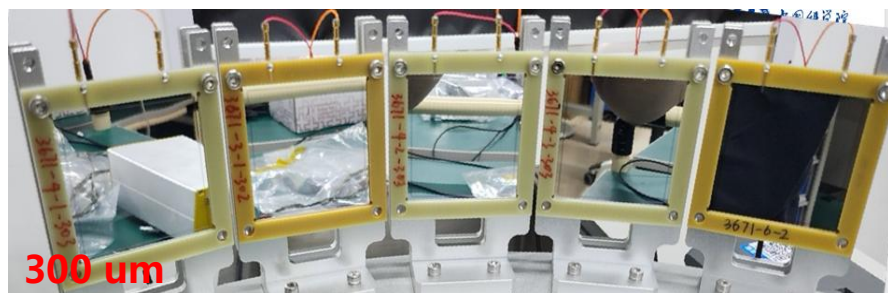
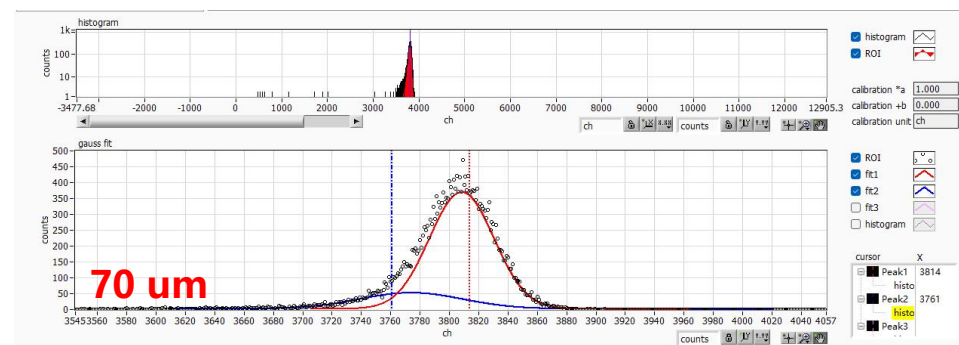
● nMCP ● FIXM ● GTAF ● C6D6 ● LPDA ● MTPC

- 运动学范围：  $E_n=1-8$  MeV时，  $E_t=3-10.5$  MeV。
- 探测器选型： 确保t能量完全沉积， 探测器的总厚度需大于  $350\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 粒子鉴别方案： 低能t采用幅度-中子能量方法， 高能t采用  $\Delta E-E$  方法（  $70\text{ }\mu\text{m} + 300\text{ }\mu\text{m}$  ）。
- 探测器布局方案： 极前角、极后角及  $90^\circ$  附近均有测量点以约束拟合， 共在十个角度设置  $\Delta E-E$  望远镜。



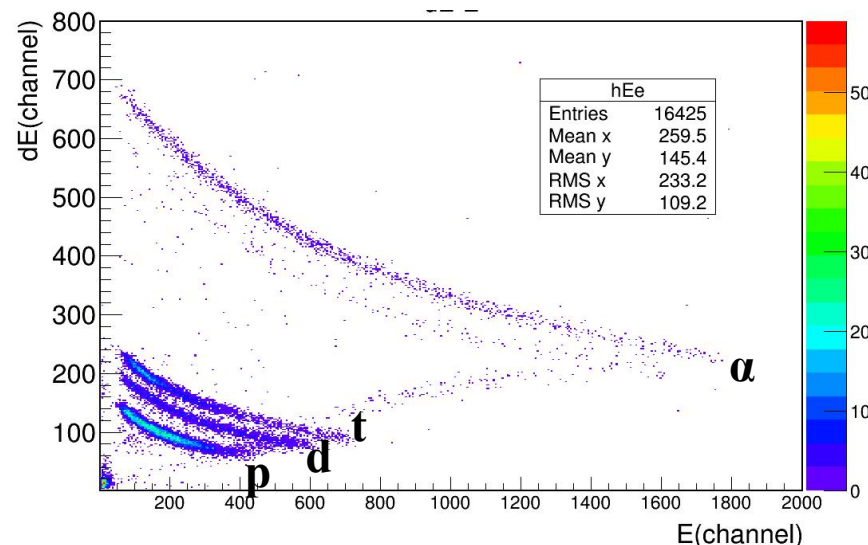
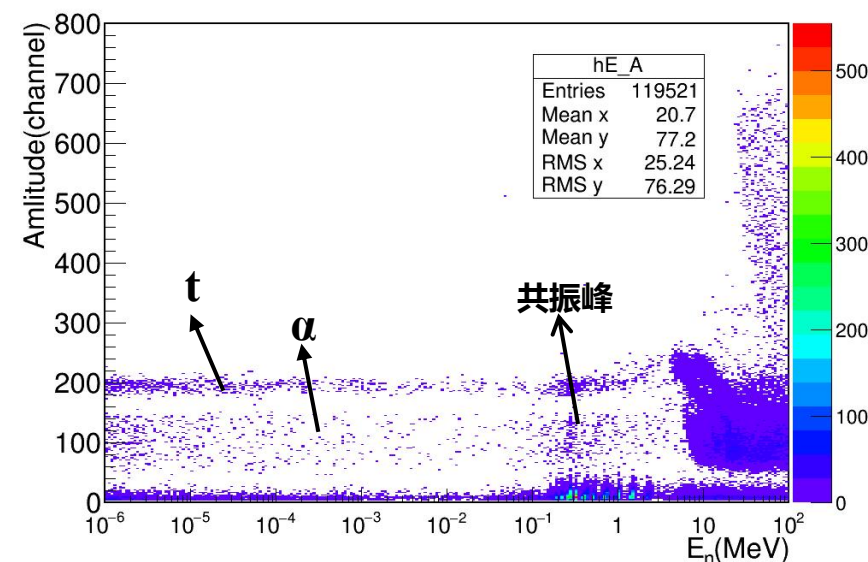
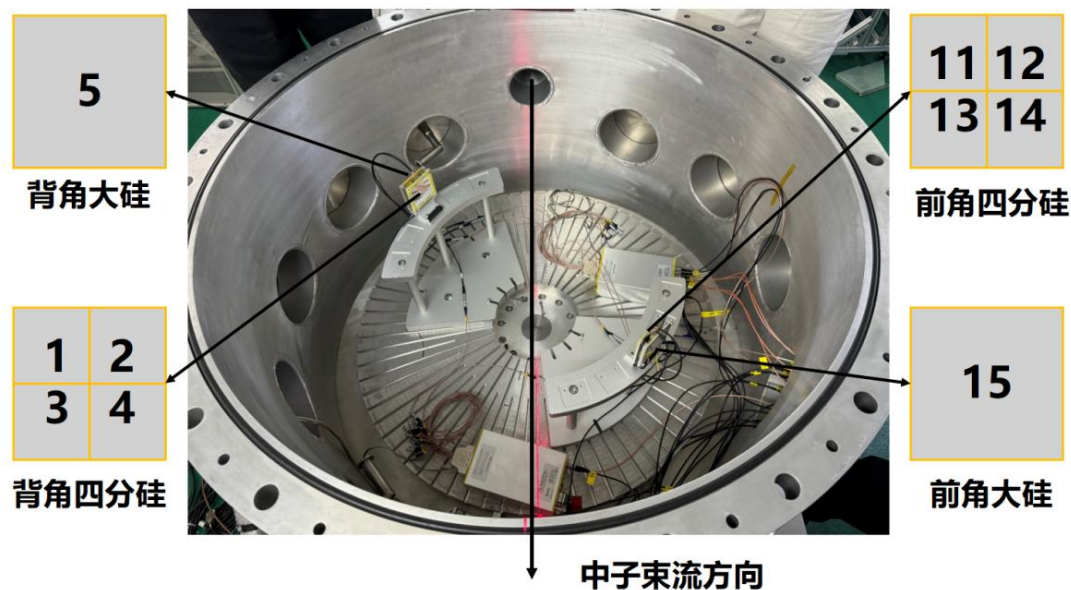
## 离线测试:

- 使用 $^{241}\text{Am}$ 放射源分别对10片70  $\mu\text{m}$ 和300  $\mu\text{m}$ 的硅探测器进行测量。
- 确定最佳高压: 70  $\mu\text{m}$ 硅探测器为25 V, 300  $\mu\text{m}$ 硅探测器为60 V。
- 获得探测器能量分辨率: 300  $\mu\text{m}$ 硅为**0.70%–0.95%**, 70  $\mu\text{m}$ 硅为**1.19%–1.52%**。

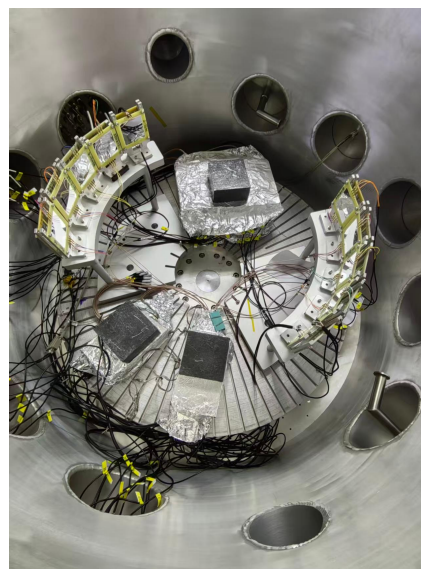
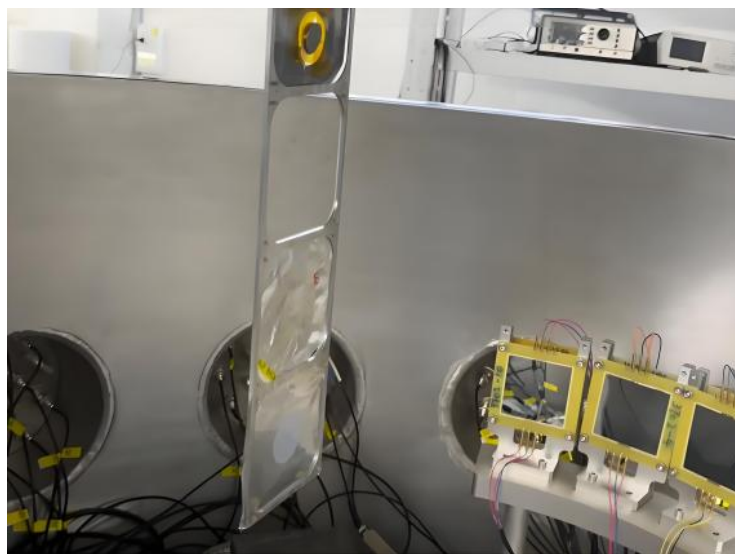


## 在线调试 (2025年5月) :

- 两套 $\Delta E$ - $E$ 望远镜分别置于 $55^\circ$ 和 $110^\circ$ 。
- $360 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  的  $^6\text{LiF}$  靶,  $10 \mu\text{m}$  铝衬。
- 低能区: 幅度-中子能量二维图中 $t$ 与 $\alpha$ 事件带清晰分离。
- 高能区:  $\Delta E$ - $E$ 二维谱中 $p/d/t/\alpha$ 事件带清晰分离。
- 在中子能量约**0.24 MeV**处, 观测到明确的共振结构。



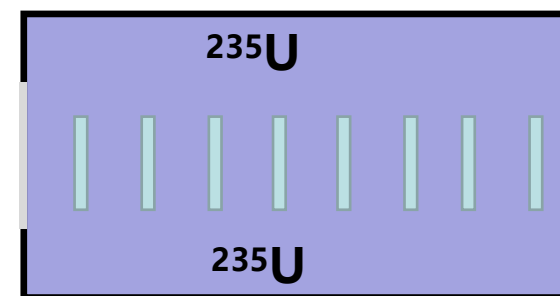
- 中子束流：能量覆盖 0.3 eV – 300 MeV，束斑大小为  $\varphi 50\text{ mm}-\varphi 15\text{ mm}-\varphi 40\text{ mm}$ 。
- ${}^6\text{LiF}$  靶：厚度  $598\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ，衬底为  $10.8\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 探测器系统：十组  $\Delta E$ -E 硅望远镜 ( $\Delta E$ :  $70\text{ }\mu\text{m}$ , E:  $300\text{ }\mu\text{m}$ ) 。
- 测量角度： $25^\circ, 40^\circ, 55^\circ, 70^\circ, 85^\circ, 95^\circ, 110^\circ, 125^\circ, 140^\circ, 155^\circ$ 。
- 测量时间：185小时 (2025年12月16日-2025年12月25日) 。



□ 基于裂变电离室FIXM，内含两片丰度为99.99%的 $^{235}\text{U}$ 裂变片。

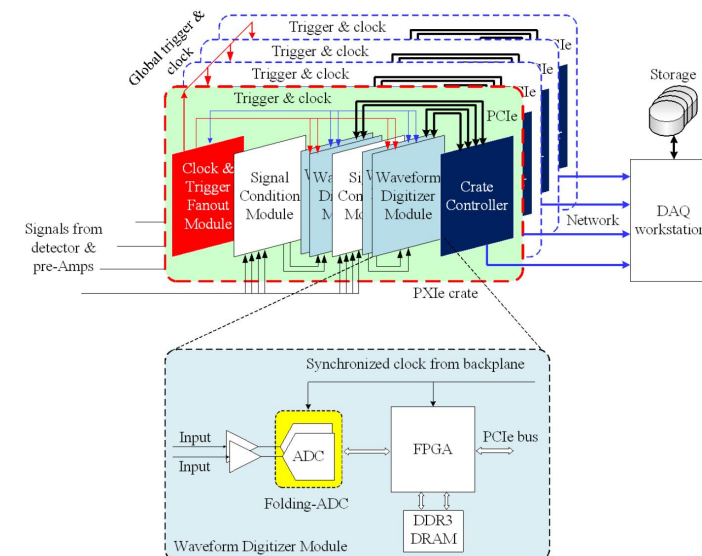


Neutron

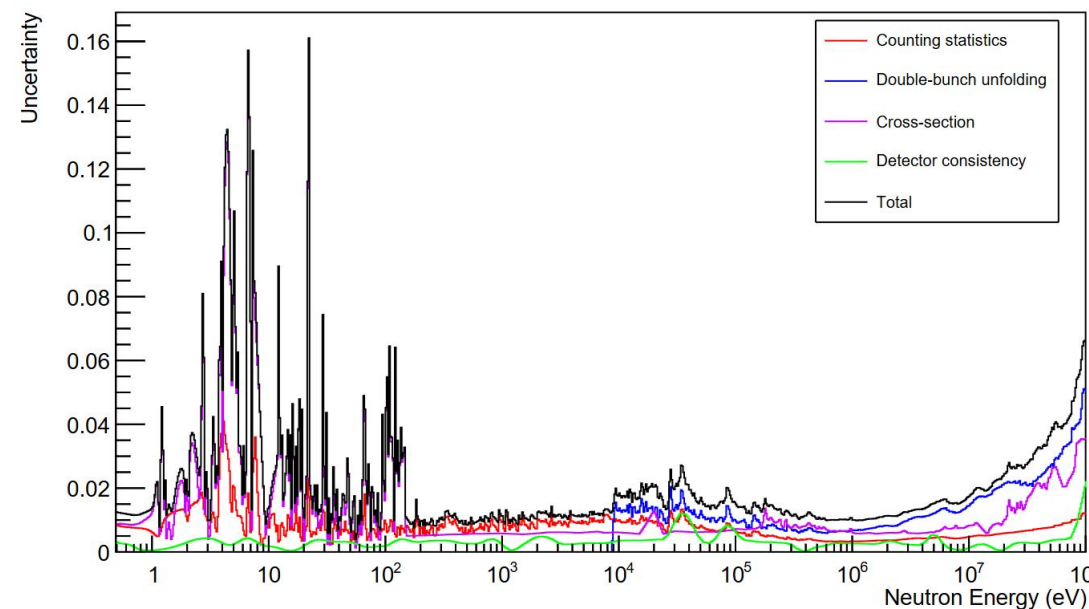
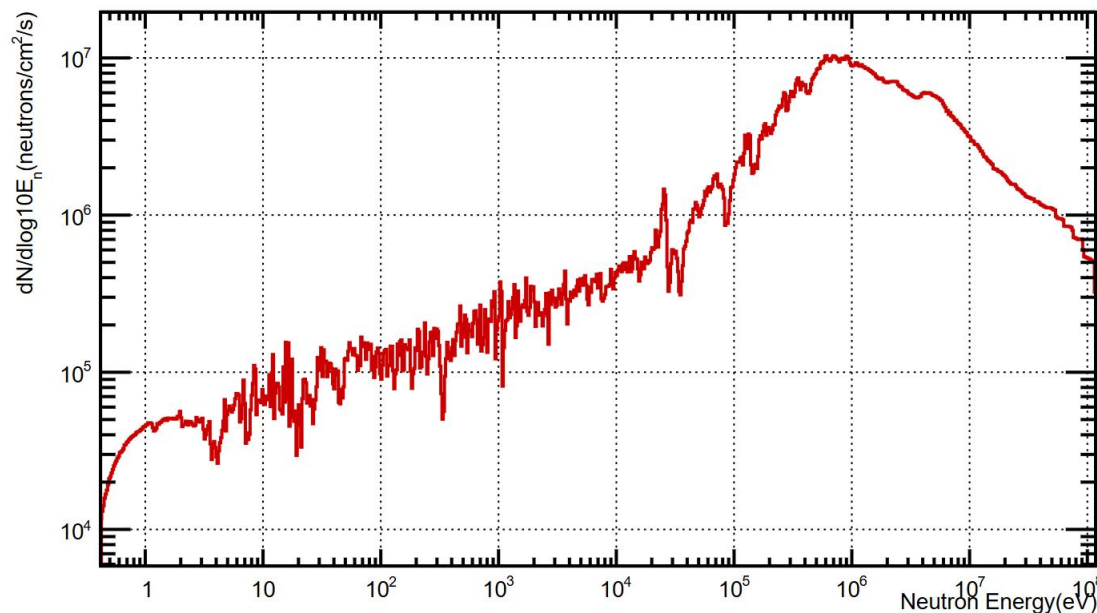
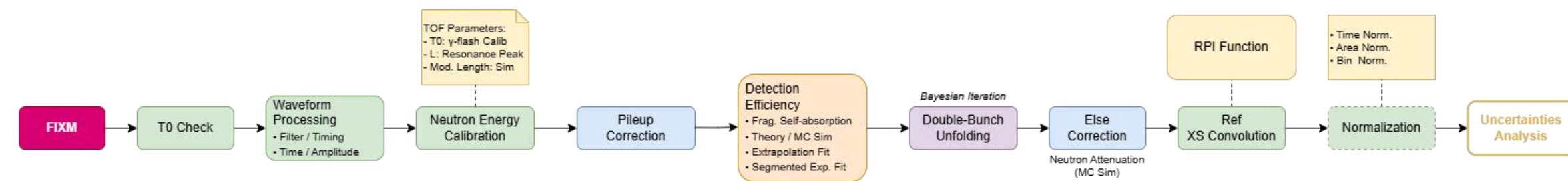


共用电子学

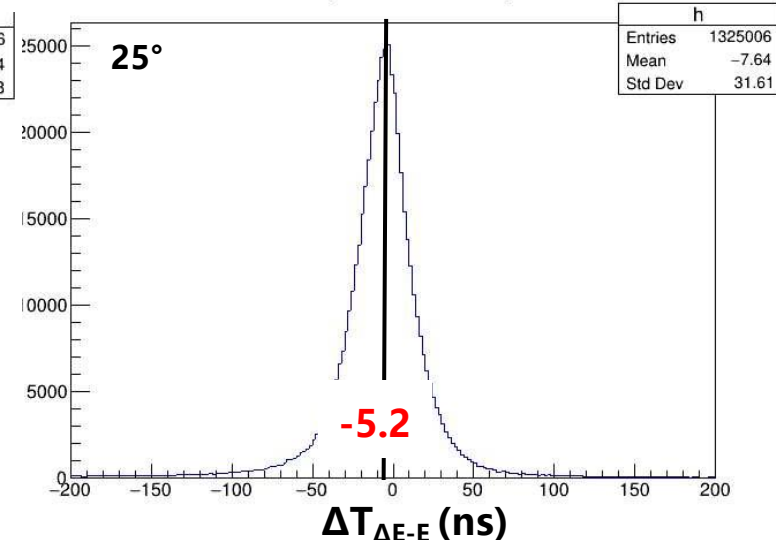
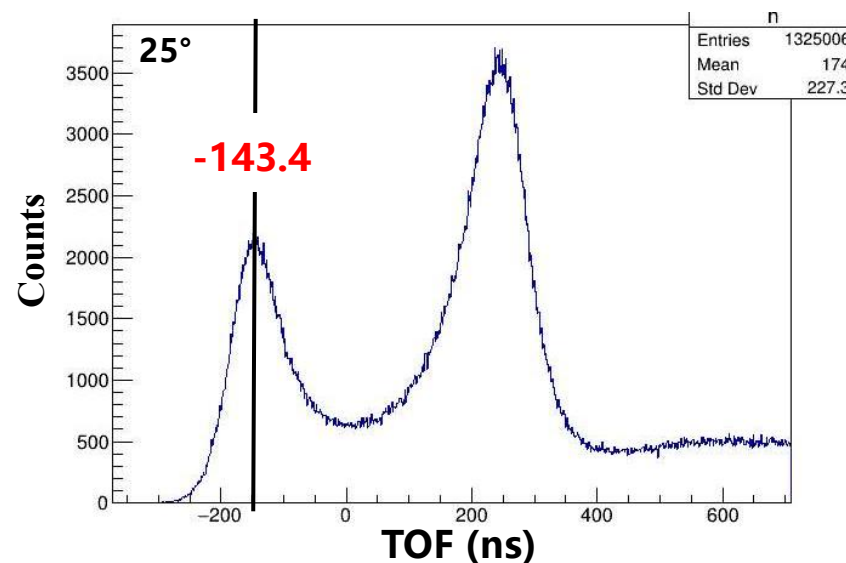
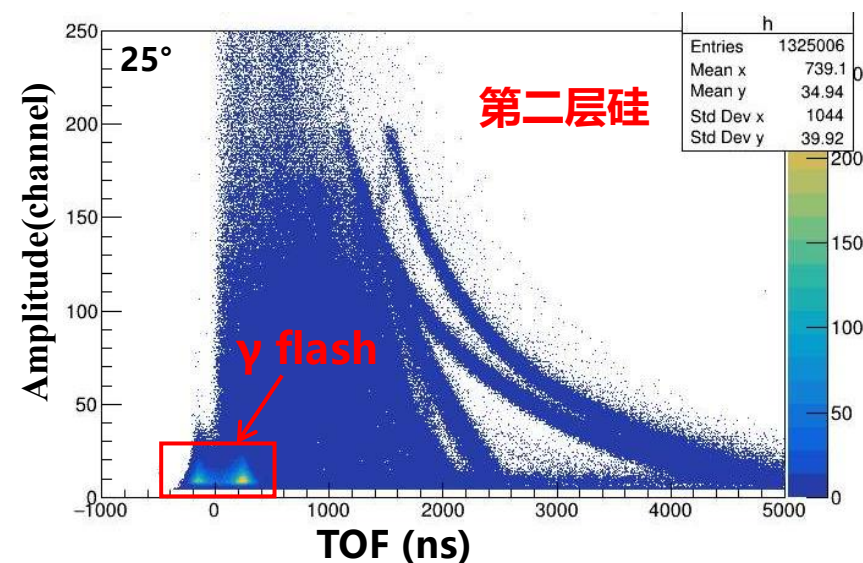
Resolution: 12 bits  
Sampling rate: 1 GSPS



- 考虑了脉冲堆积修正、能量分辨函数卷积、中子衰减修正等因素的影响。
- 不确定度分析包含统计误差、解谱误差、参考截面误差及探测器一致性误差。



# 中子飞行时间修正与飞行距离刻度



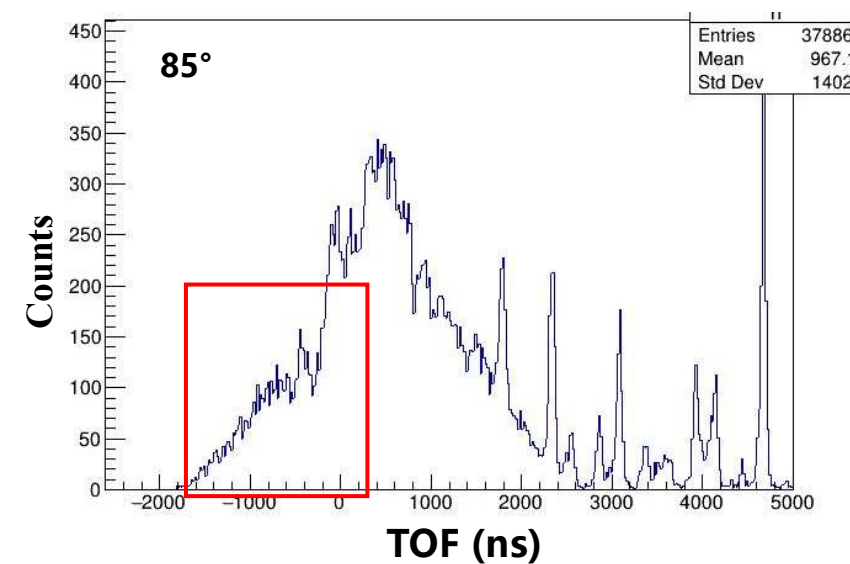
□ 利用 $\gamma$  flash对飞行时间修正。

□ 第一束团TOF 的最可几值:  $57.99 \text{ m} / 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 193.3 \text{ ns}$ 。

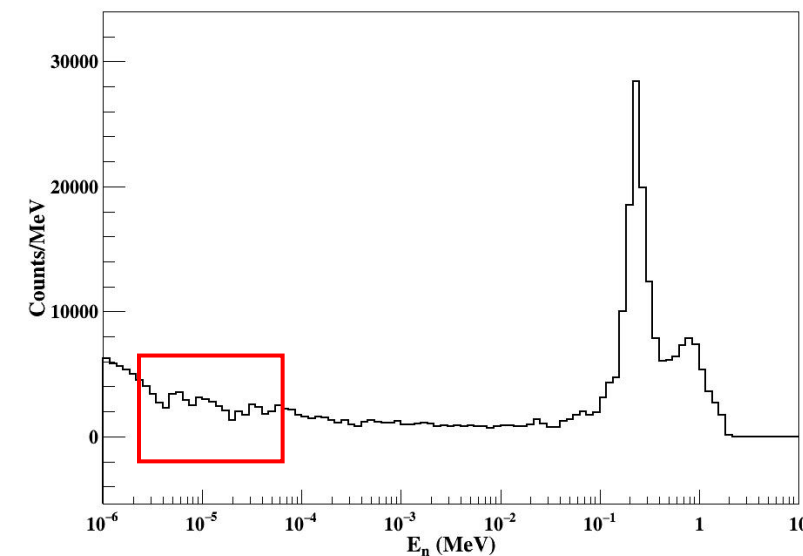
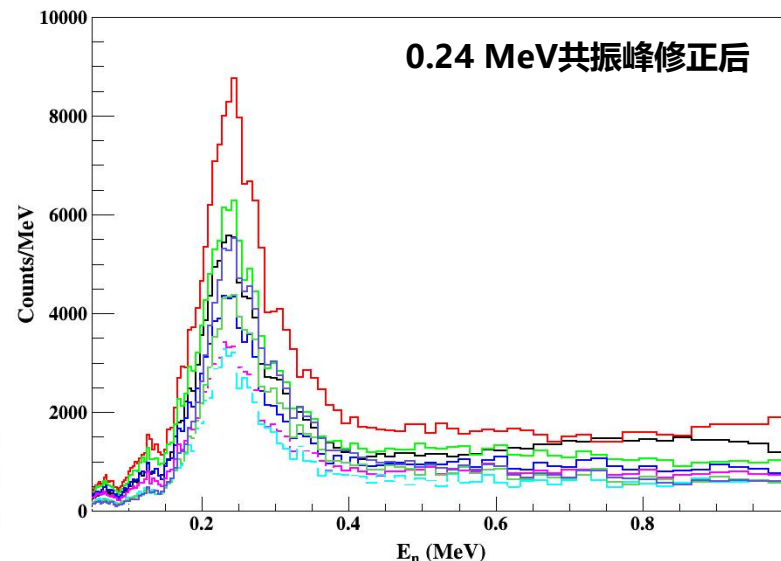
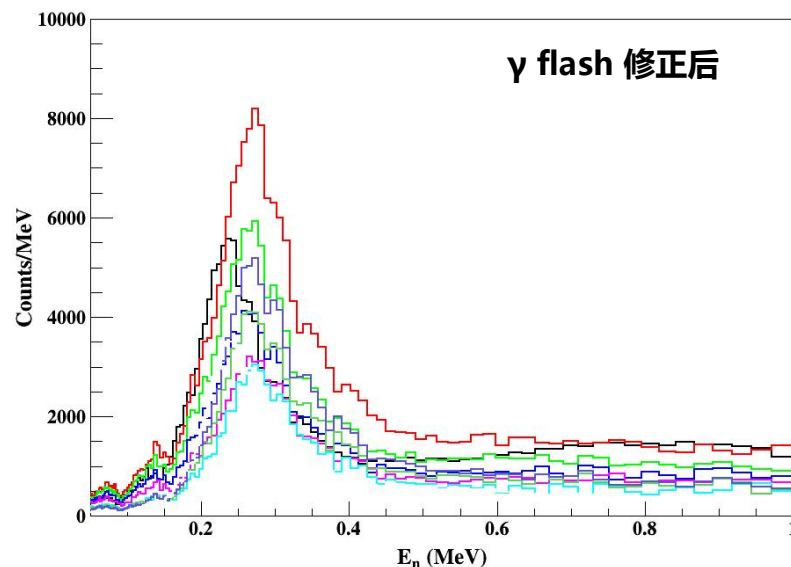
□ 第二层硅的飞行时间修正值:  $193.3 + 143.4 = 336.7 \text{ ns}$ 。

□ 第一层硅的飞行时间修正值:  $336.7 + 5.2 = 341.9 \text{ ns}$ 。

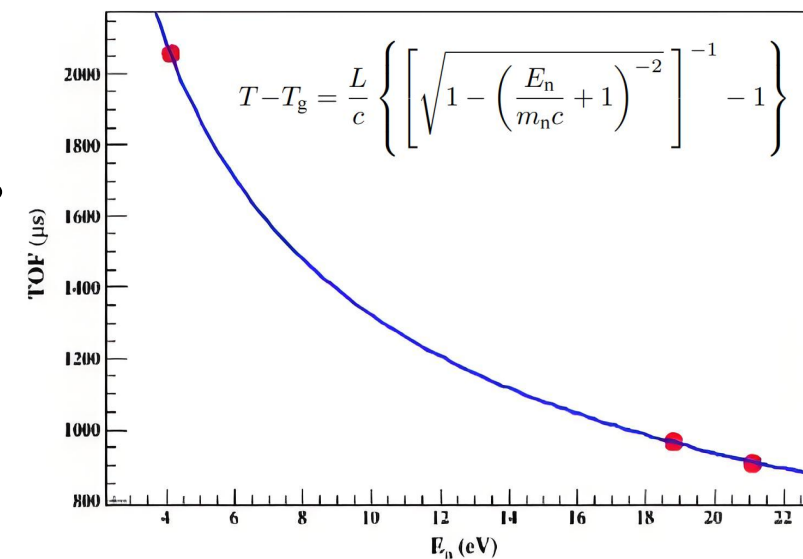
□ 90°附近的实验数据未观察到明显的  $\gamma$  flash。

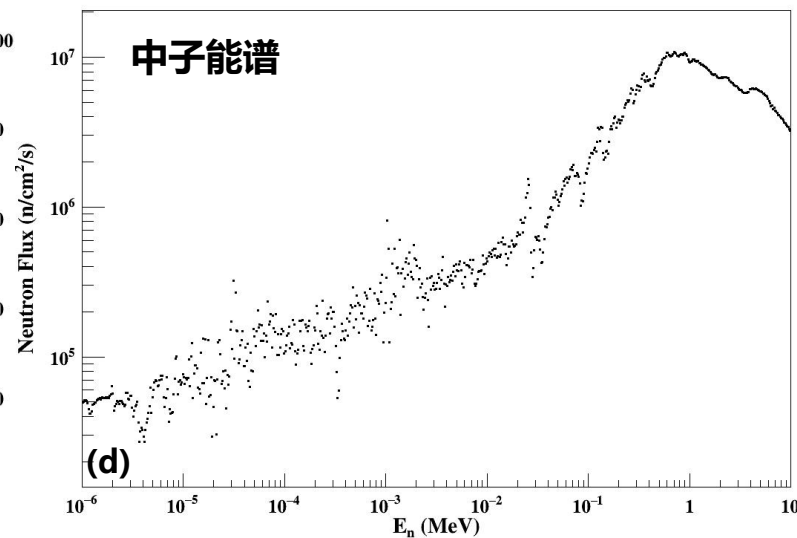
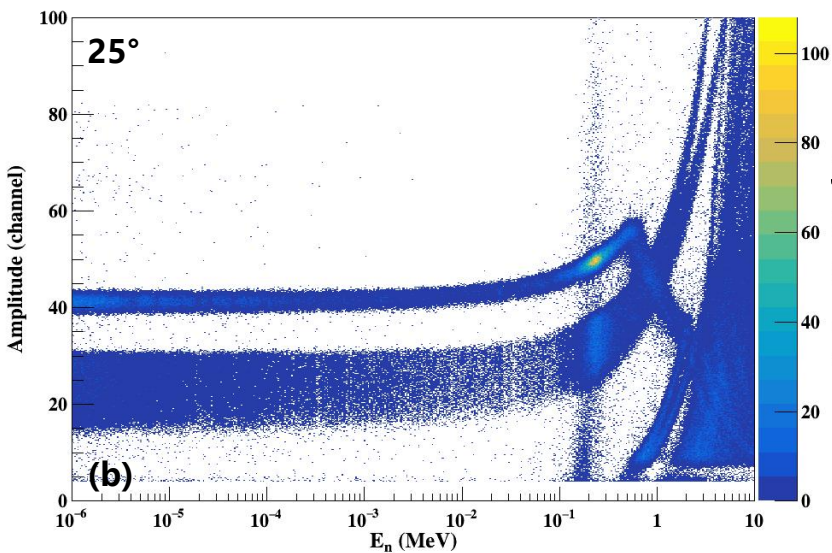
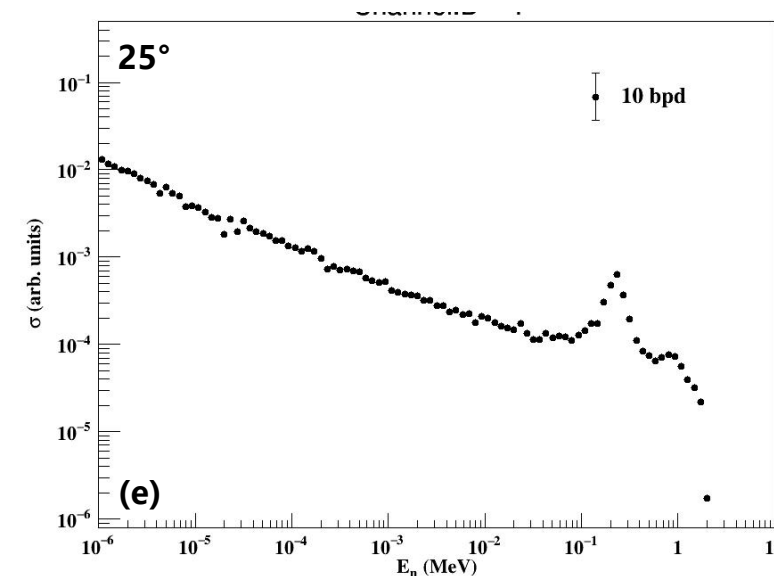
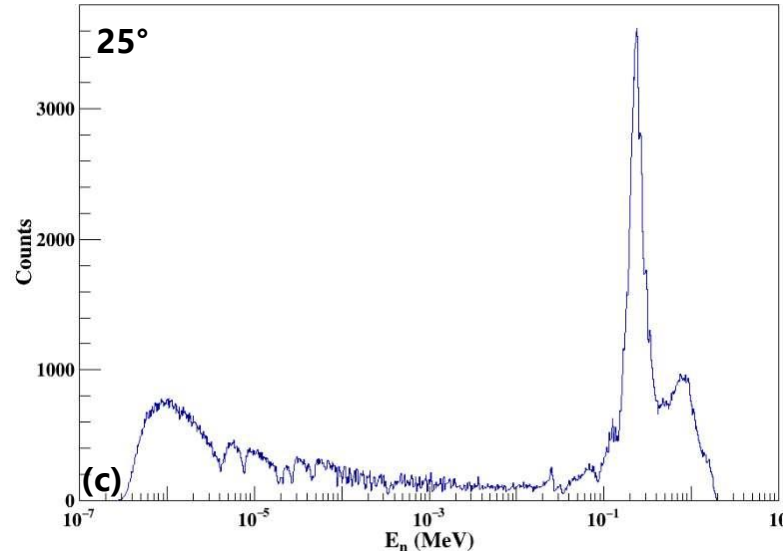
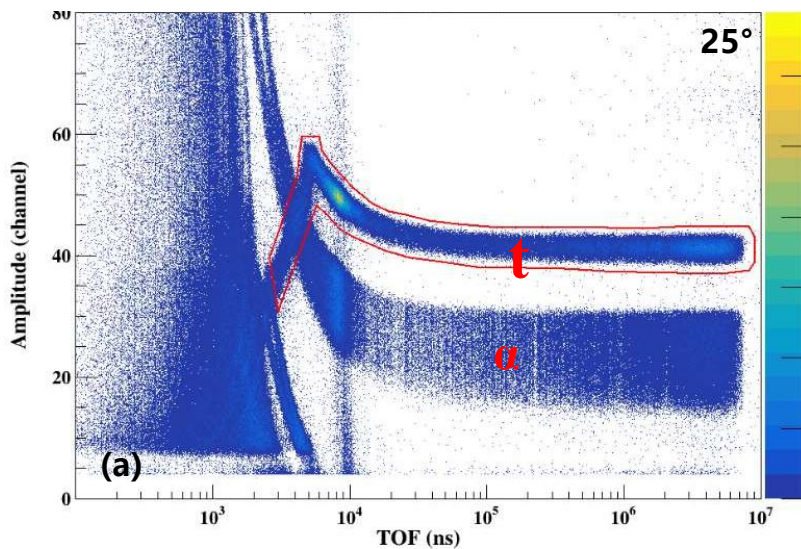


# 中子飞行时间修正与飞行距离刻度



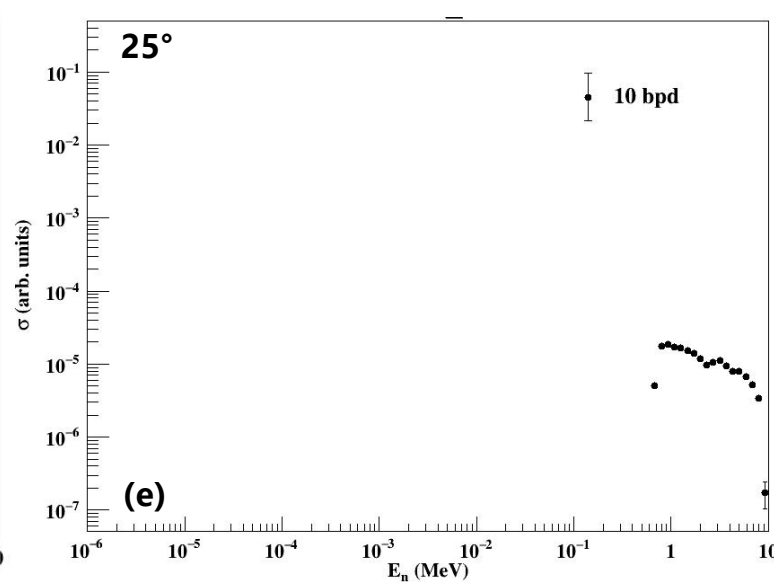
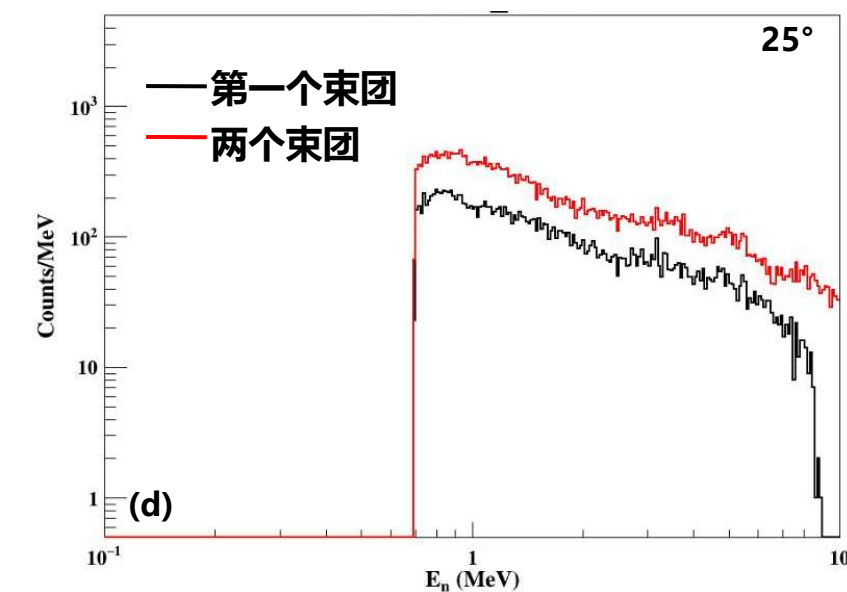
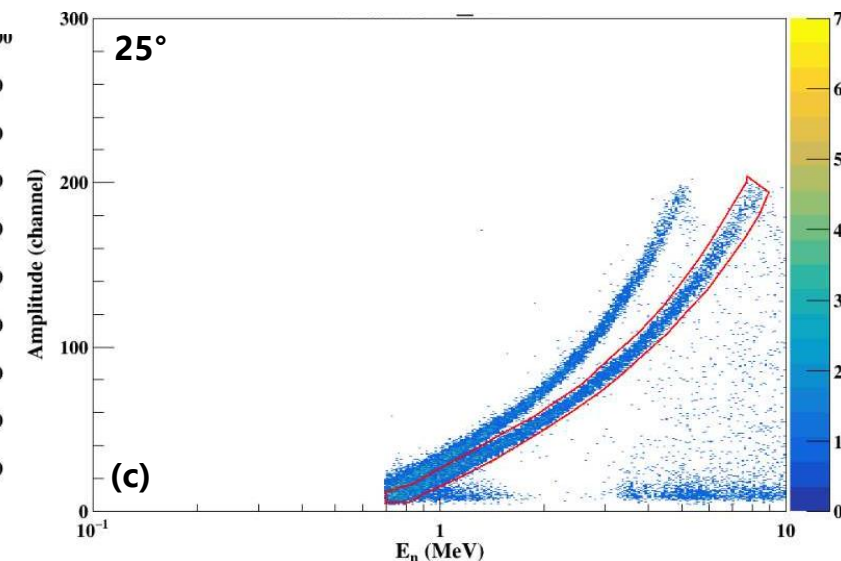
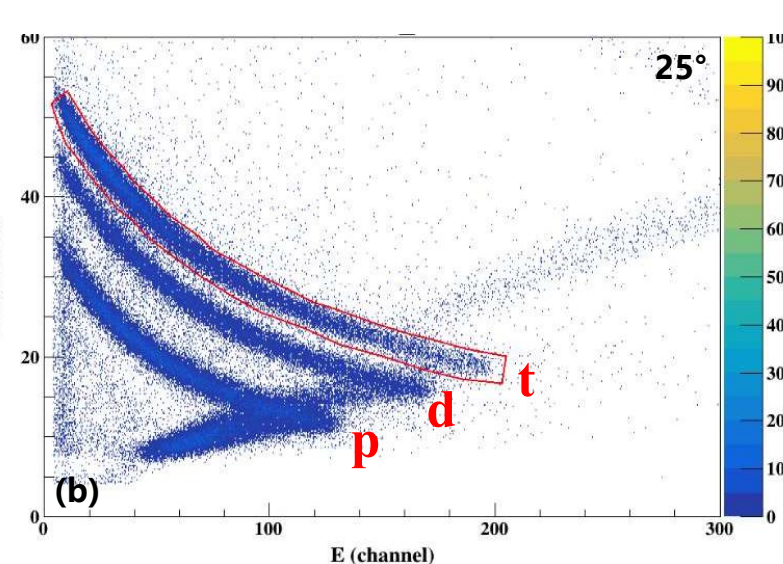
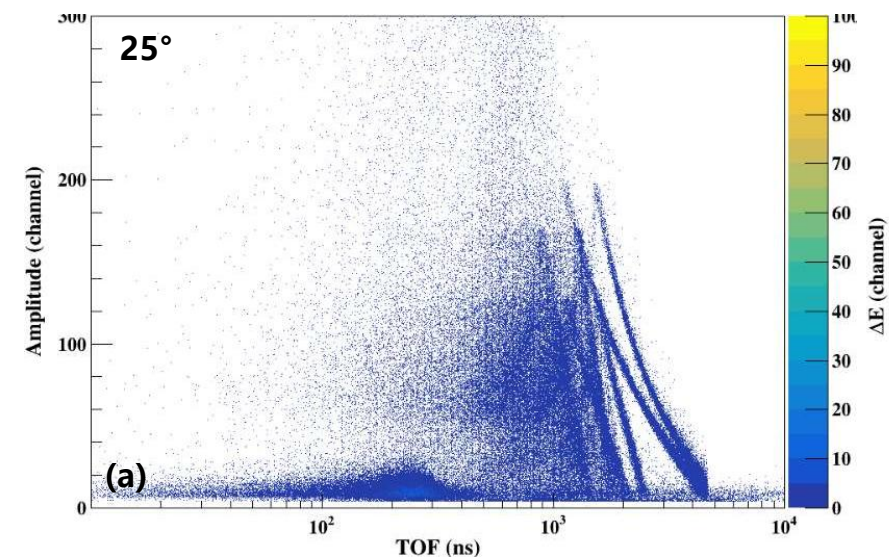
- 利用 γ flash方法修正后不同角度下的0.24MeV的共振峰不能对齐。
- 利用0.24 MeV共振修正飞行时间。
- 利用吸收峰对刻度中子飞行距离，结果为 $57.972 \pm 0.400$  m。





- 幅度-TOF二维图中选择低能t。
- t计数/中子计数获得相对截面。

TOF方法



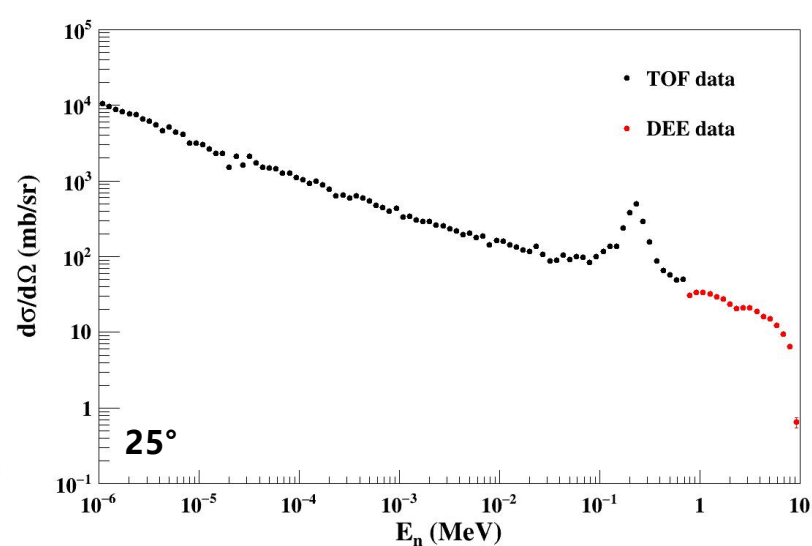
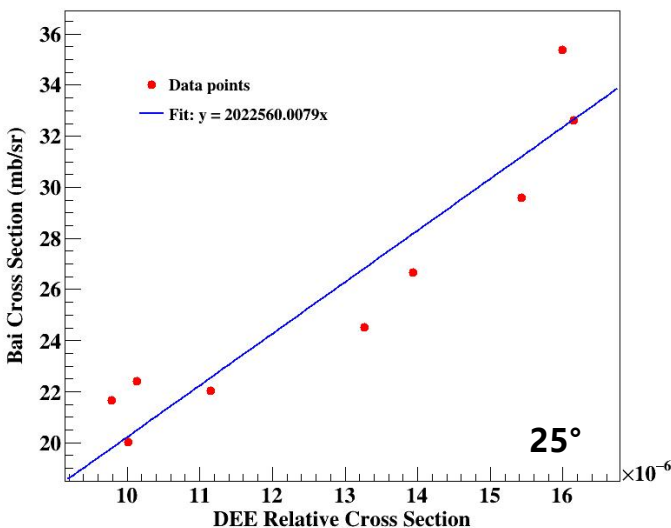
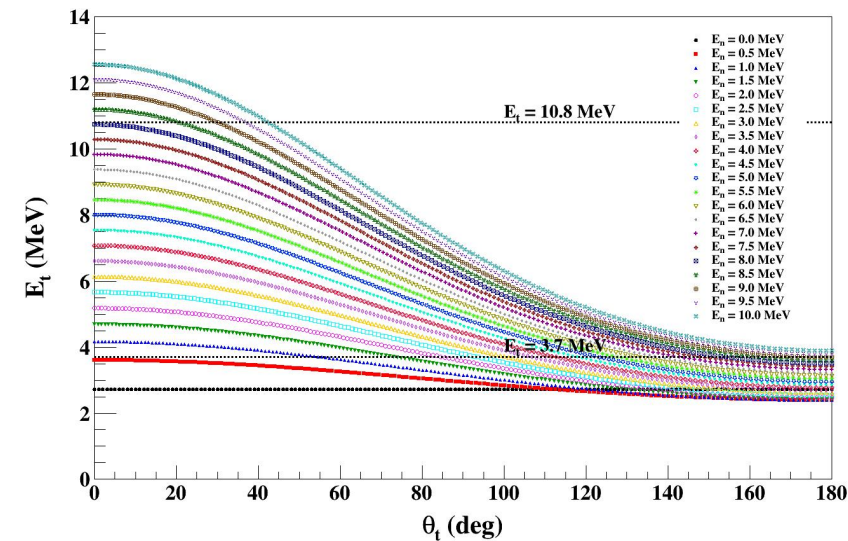
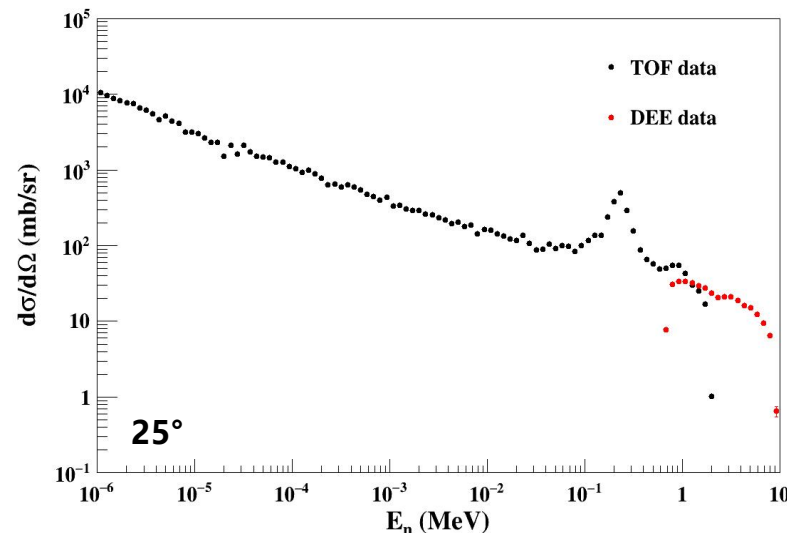
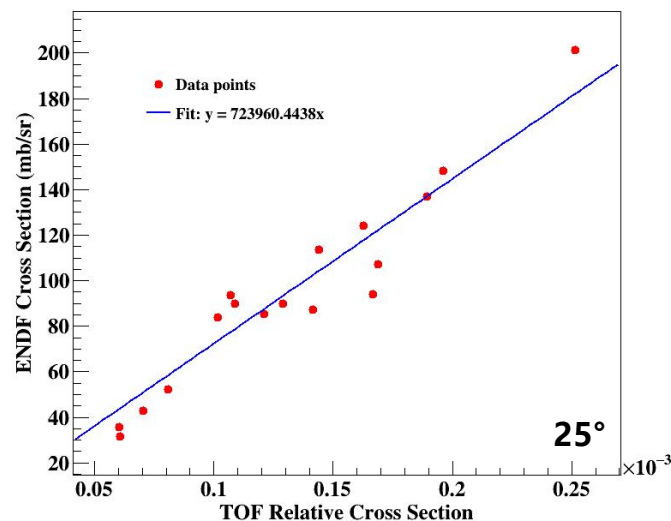
- $\Delta E$ - $E$ 二维谱中选择高能t。
- 选择第一个束团事件。
- t计数/中子计数获得相对截面。

**$\Delta E$ - $E$ 方法**

$$\left. \frac{d\sigma}{d\Omega} \right|_{E_n} = \frac{\text{count}(E_n)}{N_n(E_n) \cdot N_{\text{target}} \cdot \Omega_{\text{det}} \cdot \epsilon_{\text{det}}} = k \cdot \frac{\text{count}(E_n)}{N_n(E_n)}$$

- $\text{count}(E_n)$ : 中子能量为  $E_n$  时产生的氚核数; 与中子能量相关
- $N_n(E_n)$ : 能量为  $E_n$  的中子数; 与中子能量相关
- $N_{\text{target}}$ : 目标靶核数; 常数, 与中子能量无关
- $\Omega_{\text{det}}, \epsilon_{\text{det}}$ : 探测器立体角与探测效率; 常数, 与中子能量无关

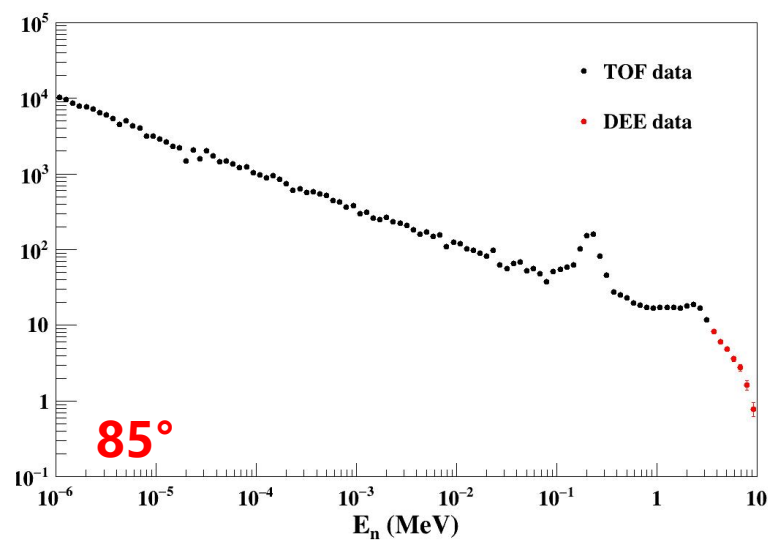
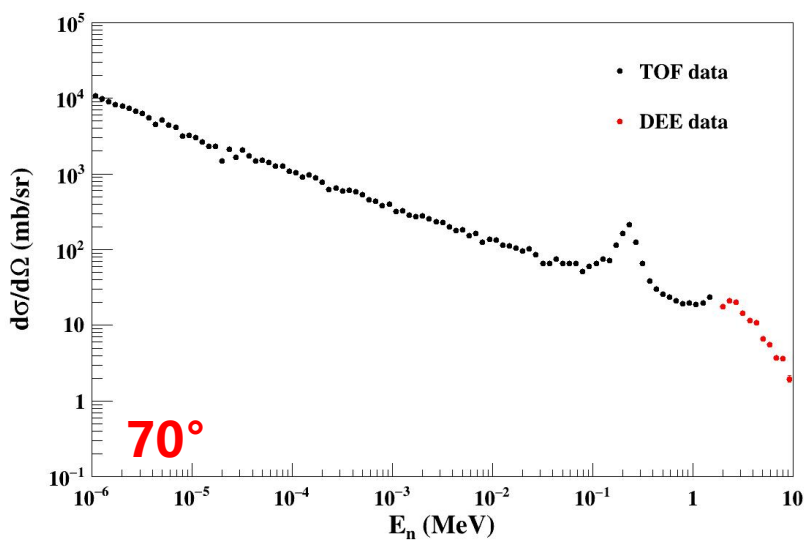
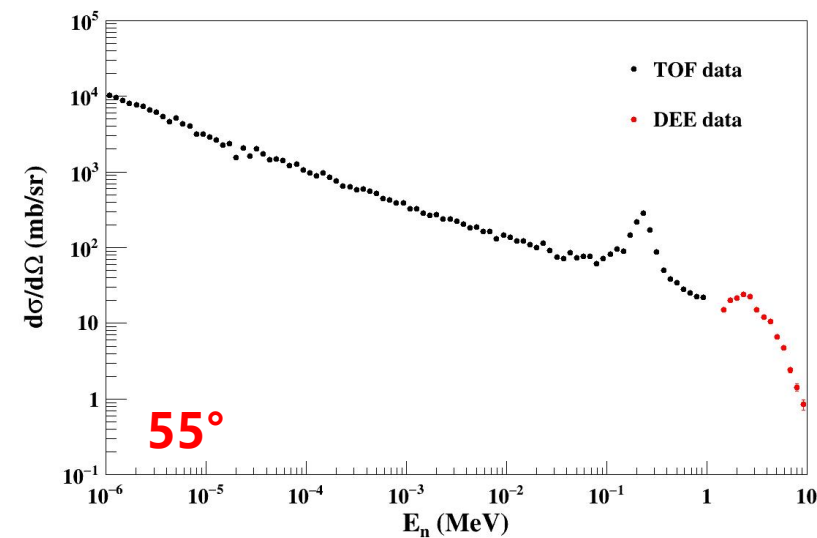
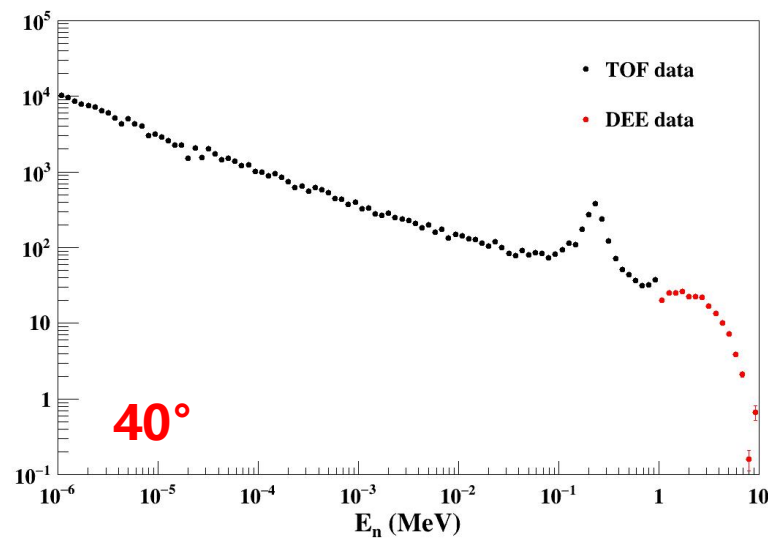
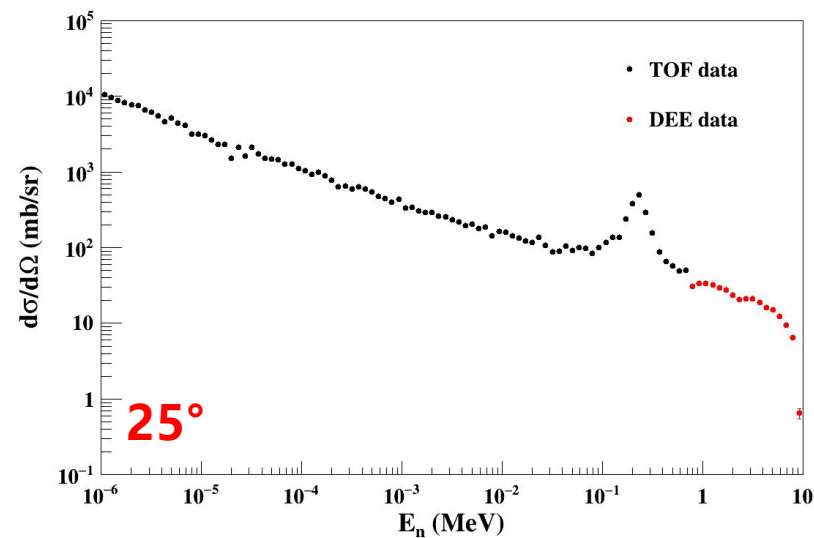
可将相对截面归一  
到绝对截面

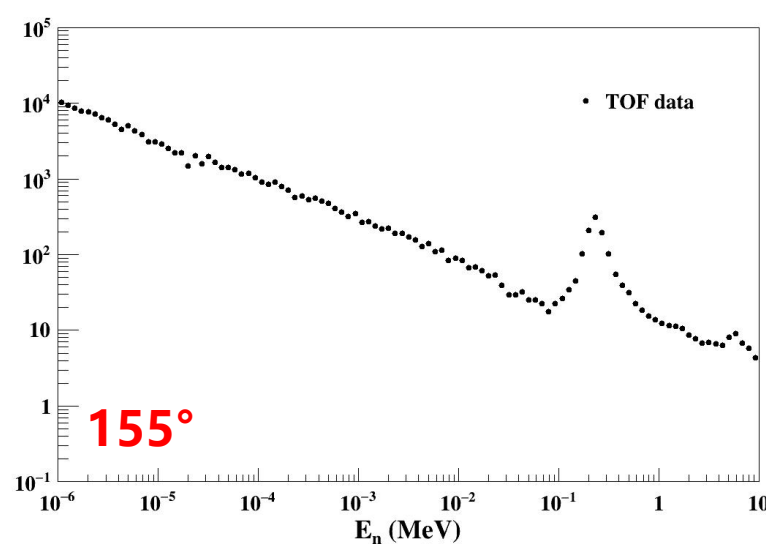
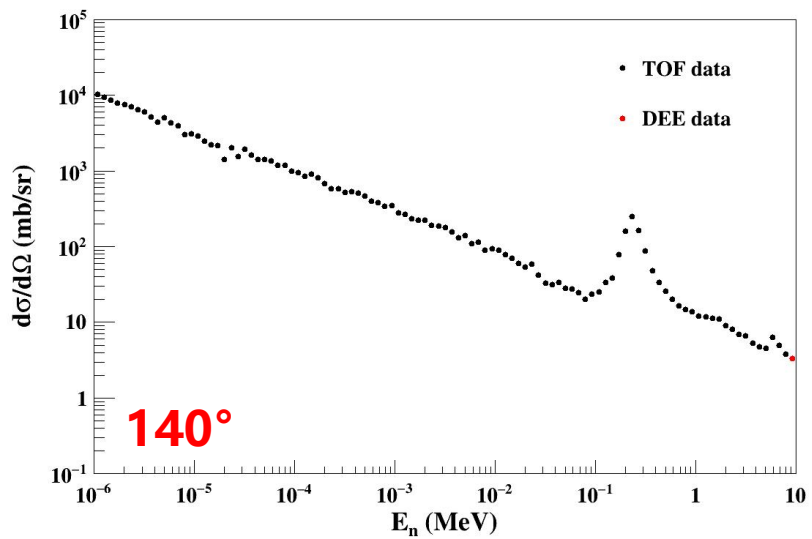
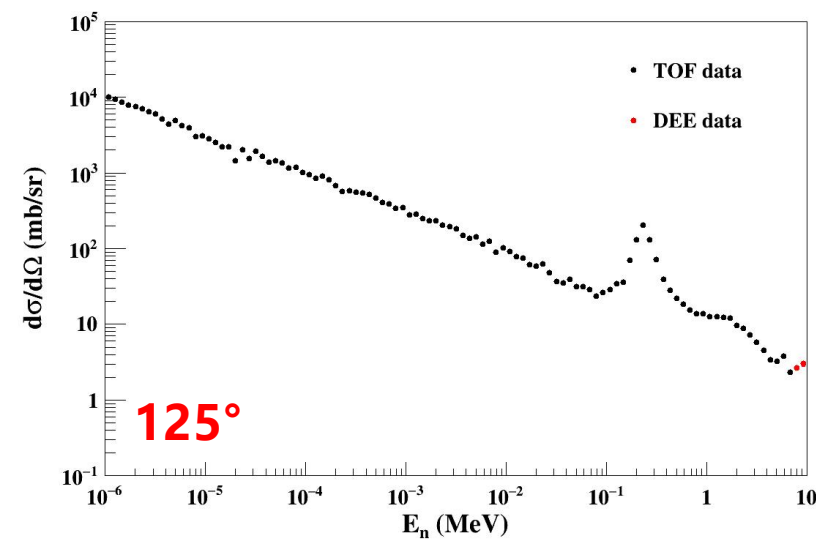
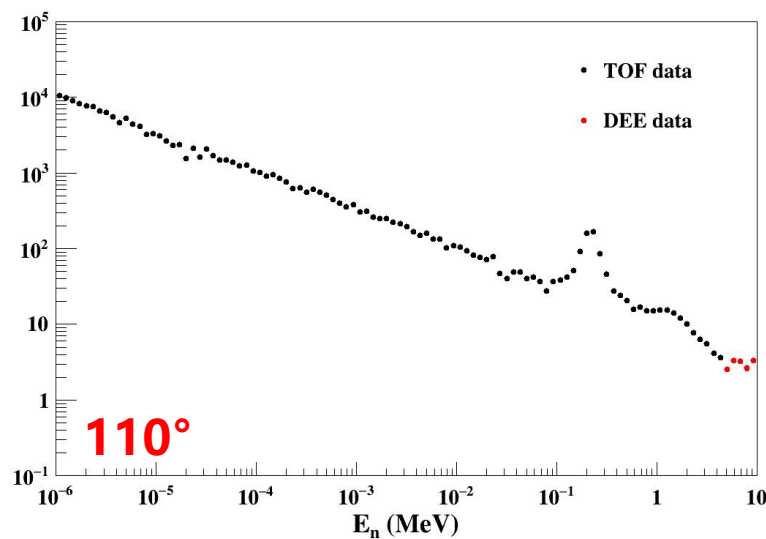
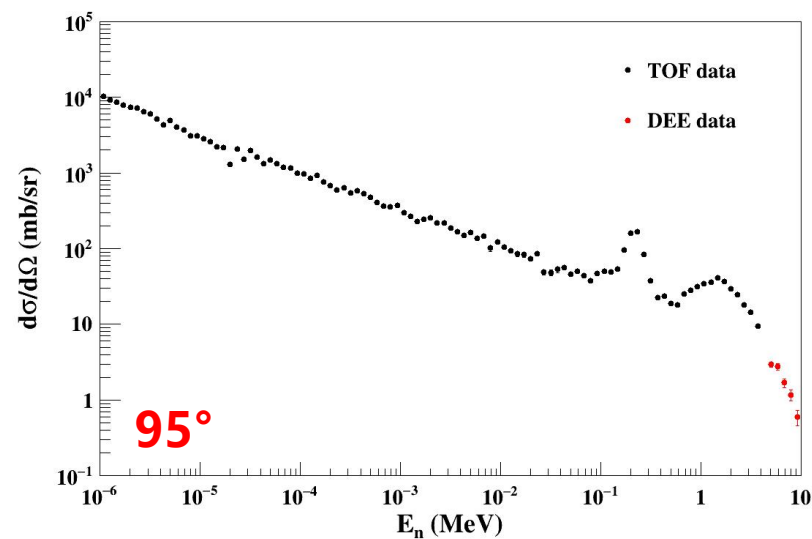


□ 获取归一化因子。

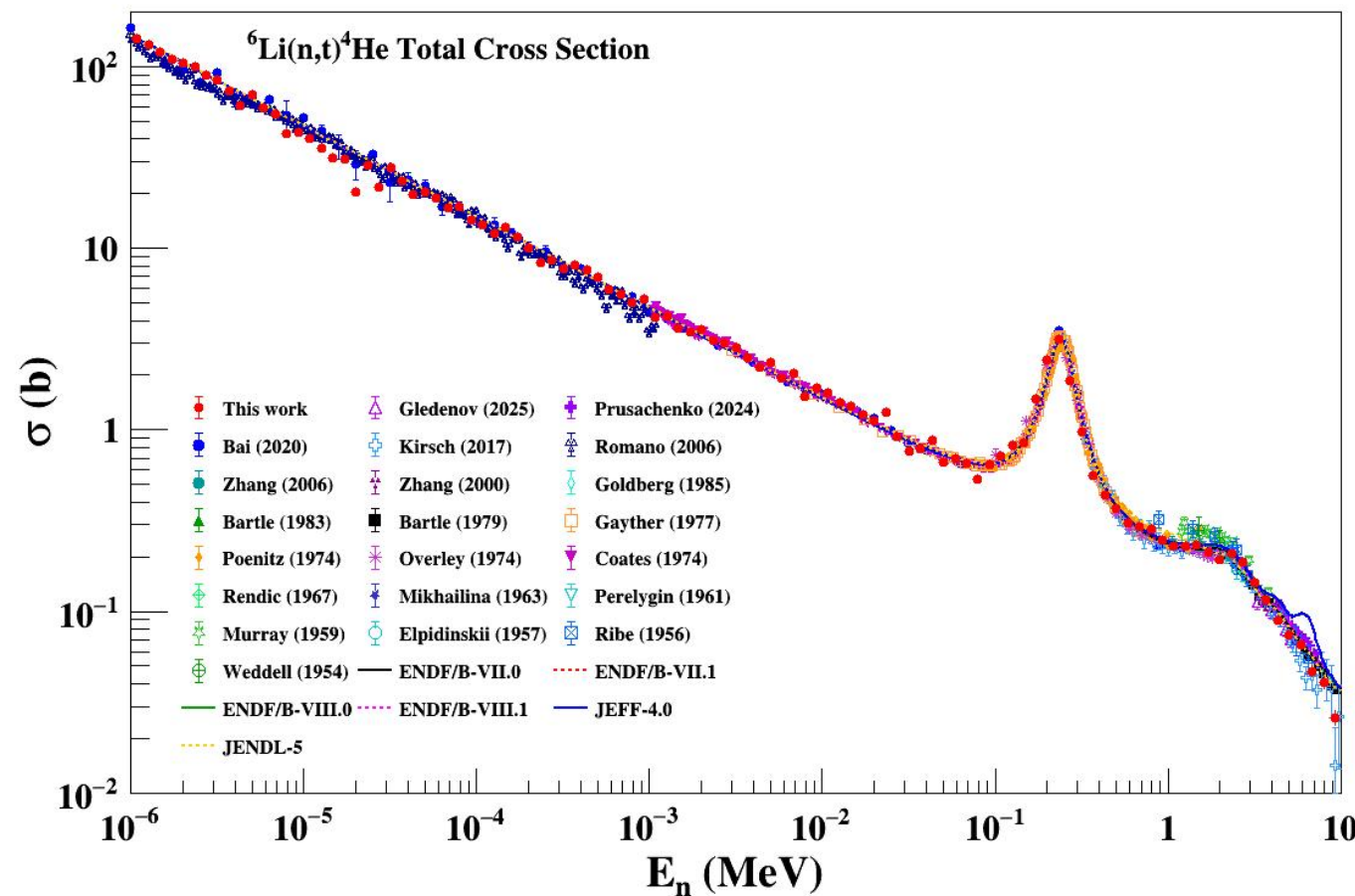
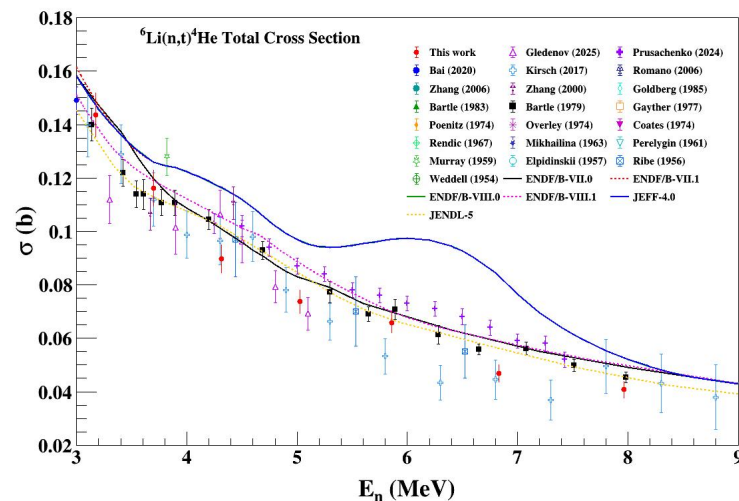
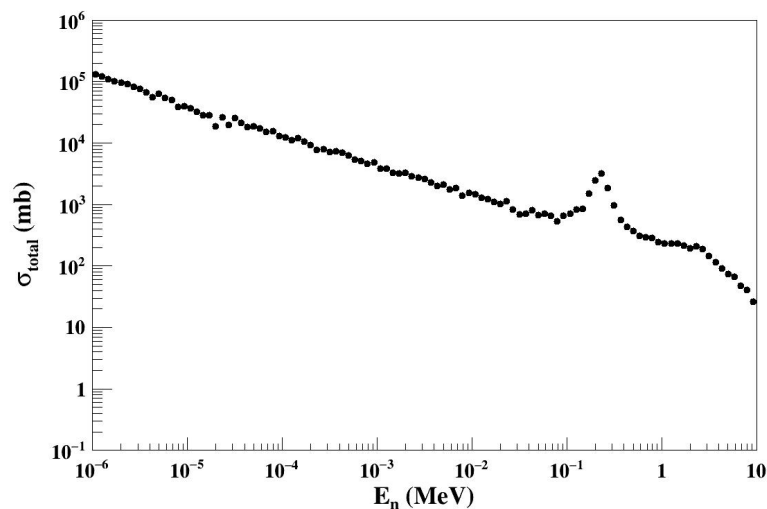
□ 根据运动学计算结果，筛选数据。

- 当 $E_t < 3.7$  MeV时，使用TOF方法的数据。
- 当 $E_t > 3.7$  MeV时，使用DEE方法的数据。





- 对微分截面进行勒让德拟合，获得积分截面。
- 误差分析：中子能谱误差、统计误差、归一化误差、角分布积分误差，总误差约3%-8%。



- 在CSNS反角白光中子源，利用**十组 $\Delta E$ -E**硅望远镜，开展了 ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ **反应**的截面测量实验。
- 低能区采用TOF法，高能区采用 $\Delta E$ -E法，分别提取不同能区的相对截面。
- 将相对微分截面进行归一，获得绝对微分截面。
- 对微分截面进行勒让德拟合与积分，获得了**积分截面**及总误差（约3%–8%）。

## 散裂中子源

樊瑞睿、蒋 伟、陈永浩、易晗、孙 康、郭宇航、吕游

## 南华大学

姜 炳、刘雨晨、胡升伟、余伟龙

## 中国科学院上海应用物理研究所

蔡翔舟、陈金根、余呈刚、黄勃松、胡继峰、邱奕嘉、苏学斗、沈 雷、冯澳、李征

**Thanks for your attention!**