

2022-2025年Back-n厅二150 keV以内能谱研究

孔誉谦 邱奕嘉 孙康 袁岑溪 张广鑫 樊瑞睿 陈永浩 蒋伟

2025年7月24日

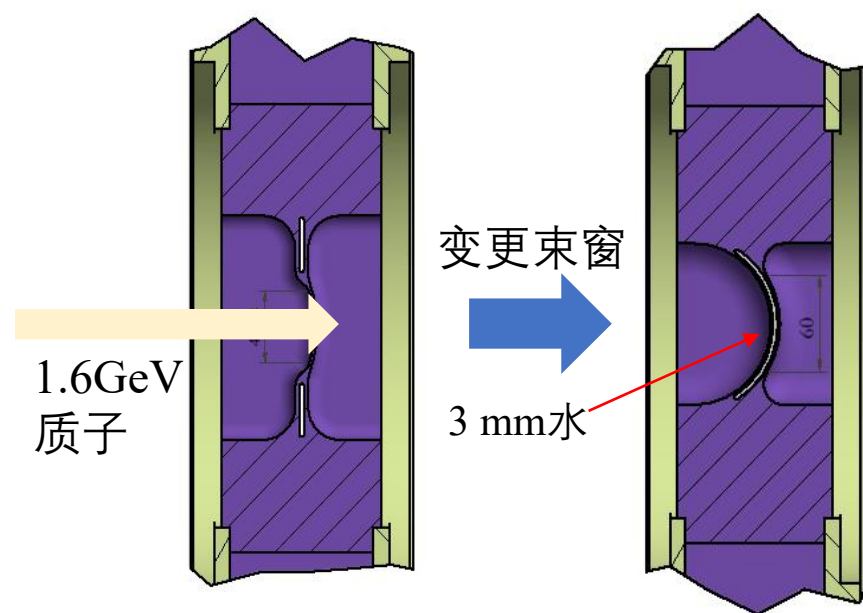


目录

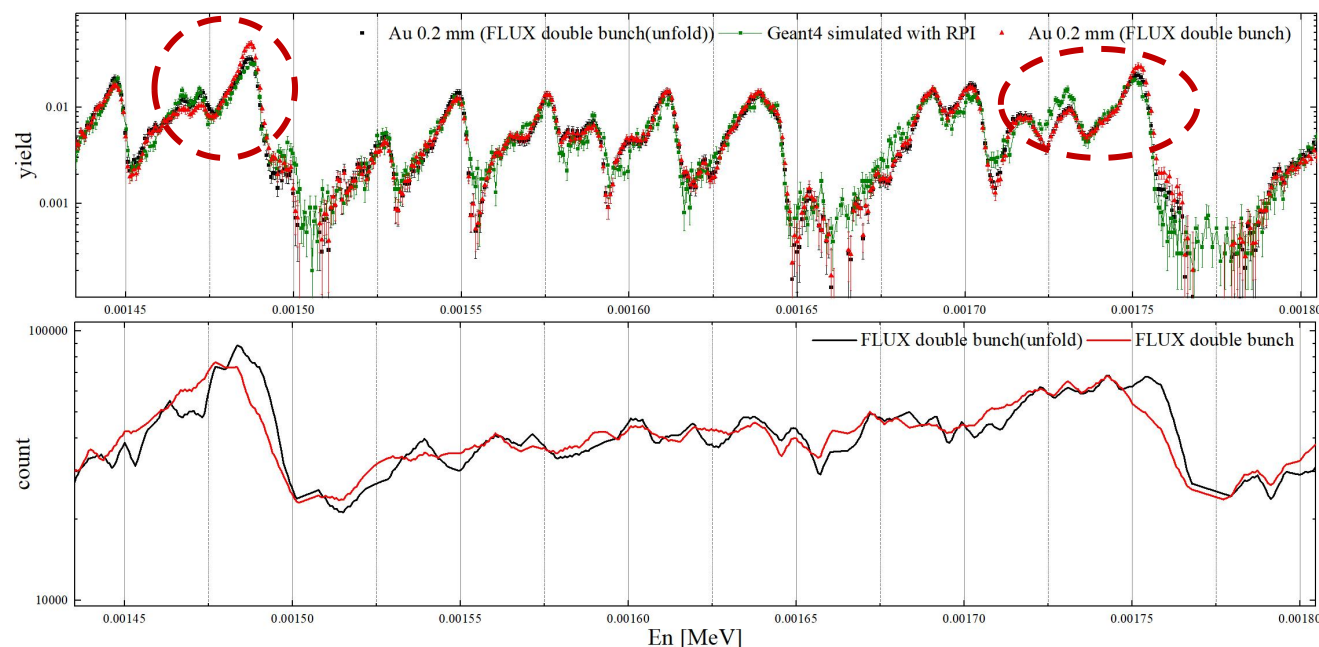


- 研究背景
- 测量方法
- 数据分析
- 不同条件下能谱对比
- 总结

- CSNS加速器及散裂靶的调整对能谱的影响: 2024暑期更换了1.6 GeV质子束流入射到散裂靶前质子束窗改变(没有水→有3 mm厚的水); 2025年1月更换了散裂靶体; **对Back-n能谱均可能有影响。**
- 2024年下半年Sc、Ho、W等核素的中子俘获截面测量, 2025上半年Mo、Mn等核素的中子俘获截面测量**亟需**该时间段的能谱(特别是150 keV以内)形状以进行数据分析。
- 中子俘获反应共振区分析需求: 10 keV以内中子能谱也需要解谱, 以获得更高精度的共振区分析结果。



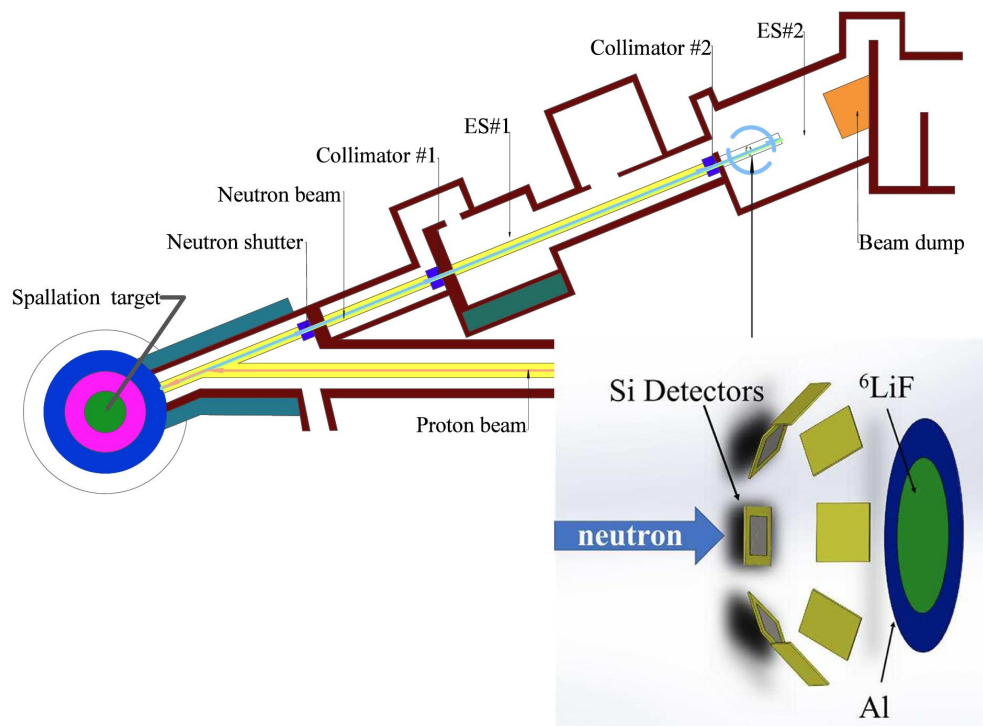
2024年暑期CSNS质子束窗结构的改变



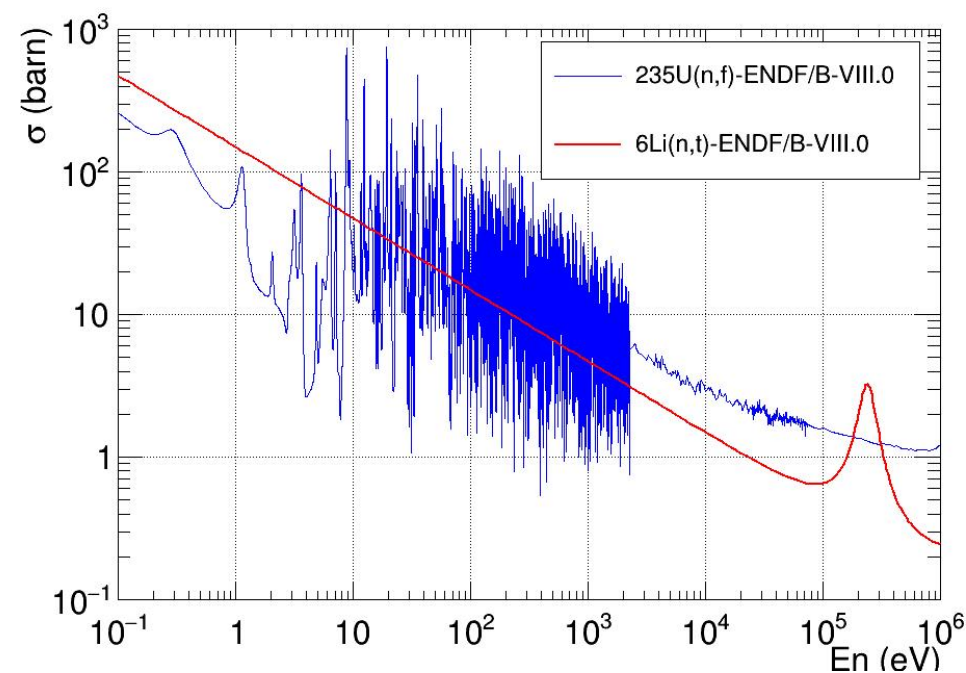
1 keV左右能谱 有/无 双束团解谱 对共振区结果的影响^[1]

- 研究背景
- **测量方法**
- 数据分析
- 不同条件下能谱对比
- 总结

- 2024年11月/2025年5月，基于 C_6D_6 探测系统开展中子俘获截面测量中同时测量了Li-Si的数据(50-15-40)，也单独开展了50-50-58的准直器组合的能谱测量实验。
- Li-Si束流监测器：基于 ${}^6\text{Li}(n, t)$ 中子转换反应，使用硅探测器开展测量。
- ${}^6\text{Li}(n, t)$ 反应适合开展百keV以内的能谱。

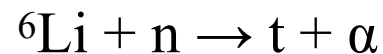


${}^6\text{LiF}$ +8片各向同性分布的Si探测器



${}^6\text{Li}$ 和 ${}^{235}\text{U}$ 的反应截面对比

- 基于 ${}^6\text{Li}(n, t)$ 中子转换反应的测量:



$$\Phi(E_n) = \frac{R(E_n)}{\sigma(E_n) \varepsilon(E_n) N_s},$$

物理量	含义	单位	物理量	含义	单位
$\Phi(E_n)$	中子通量	n/cm ² /s	$\varepsilon(E_n)$	探测效率	无
$R(E_n)$	反应速率	1/s	N_s	靶面密度	atoms/barn
$\sigma(E_n)$	反应截面	barn			

本次数据分析选用Li-Si的数据来源

时间	束斑组合	测量时间/h	束流功率/kW
2022年3月&6月 束斑测量	50-15-40	78.81	124.99
2024年11月 C ₆ D ₆ 实验期间	50-15-40	104.73	170.16
2025年5月 C ₆ D ₆ 实验期间	50-15-40	155.80	170.51
2024年11月 束斑测量	50-50-58	44.37	170.26

- 研究背景
- 测量方法
- **数据分析**
- 不同条件下能谱对比
- 总结

- 中子飞行时间(TOF)法

$$v = \frac{L}{TOF} = \frac{L}{T - T_0}$$

物理量	含义	单位	物理量	含义	单位
v	中子速度	m/s	T	中子时刻	ns
L	飞行距离	m	T_0	γ 时刻	ns

处理流程

γ 时刻获取

飞行距离刻度

阈值截断补偿

获取计数谱

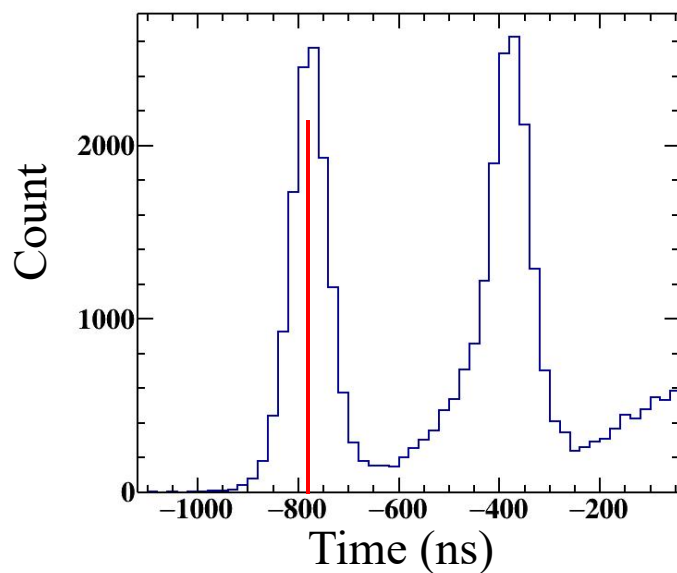
双束团解谱

探测效率修正

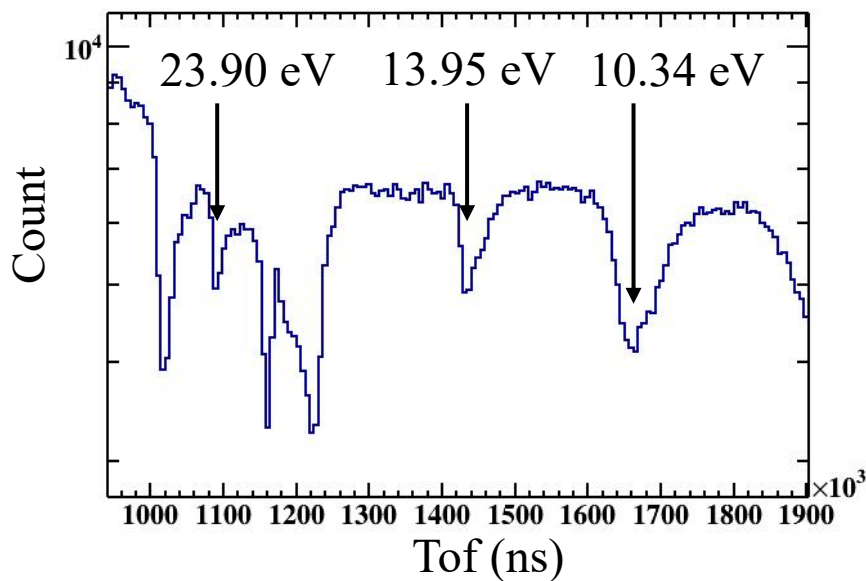
通量谱归一

误差分析

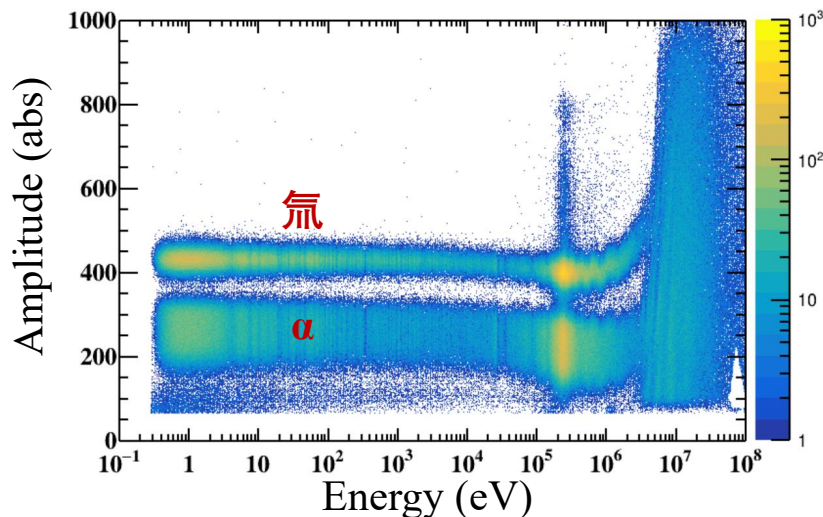
γ 时刻获取



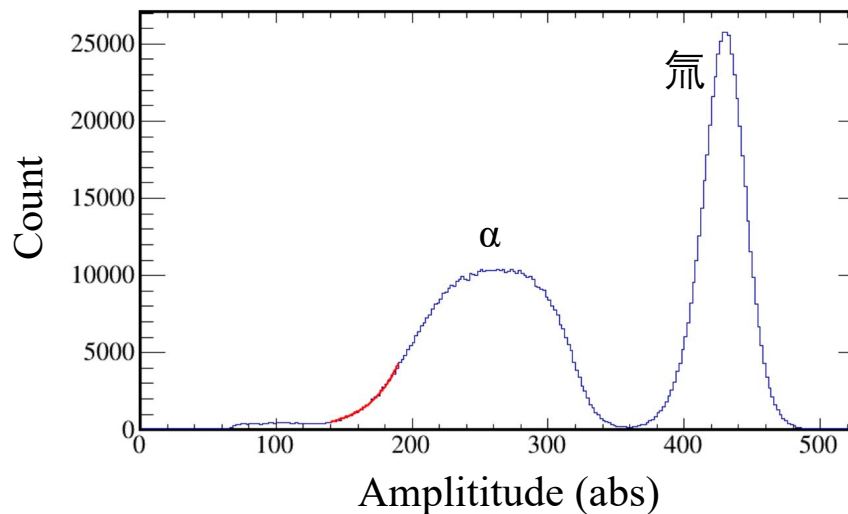
飞行距离刻度($^{181}\text{Ta}(n, \text{tot})$)



能量-信号幅值二维图



阈值截断补偿



处理流程

γ 时刻获取

飞行距离刻度

阈值截断补偿

获取计数谱

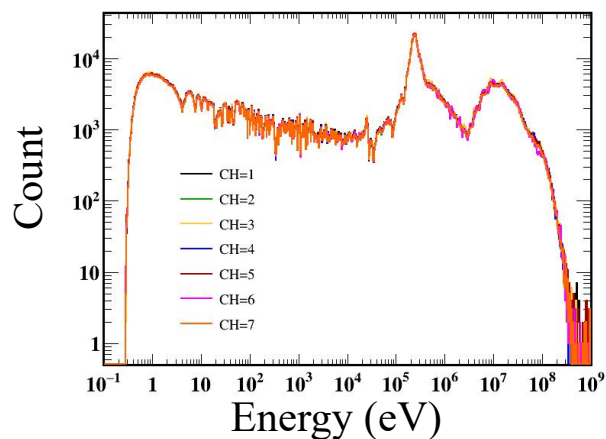
双束团解谱

探测效率修正

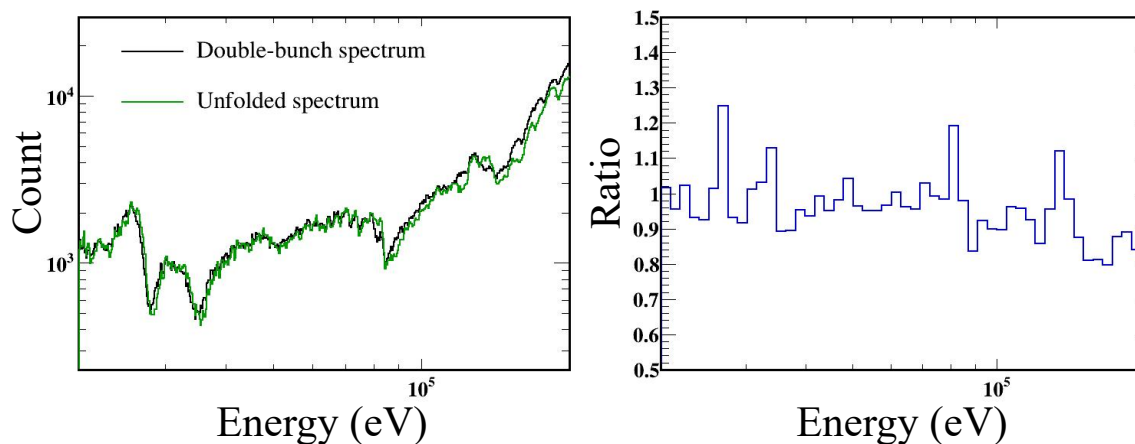
通量谱归一

误差分析

计数谱



双束团解谱^[1]



处理流程

γ 时刻获取

飞行距离刻度

阈值截断补偿

获取计数谱

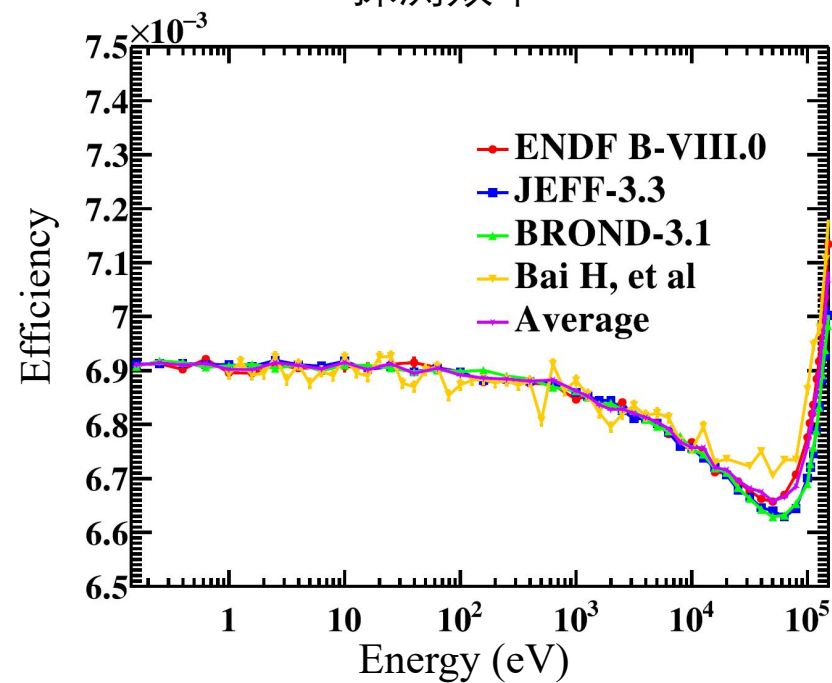
双束团解谱

探测效率修正

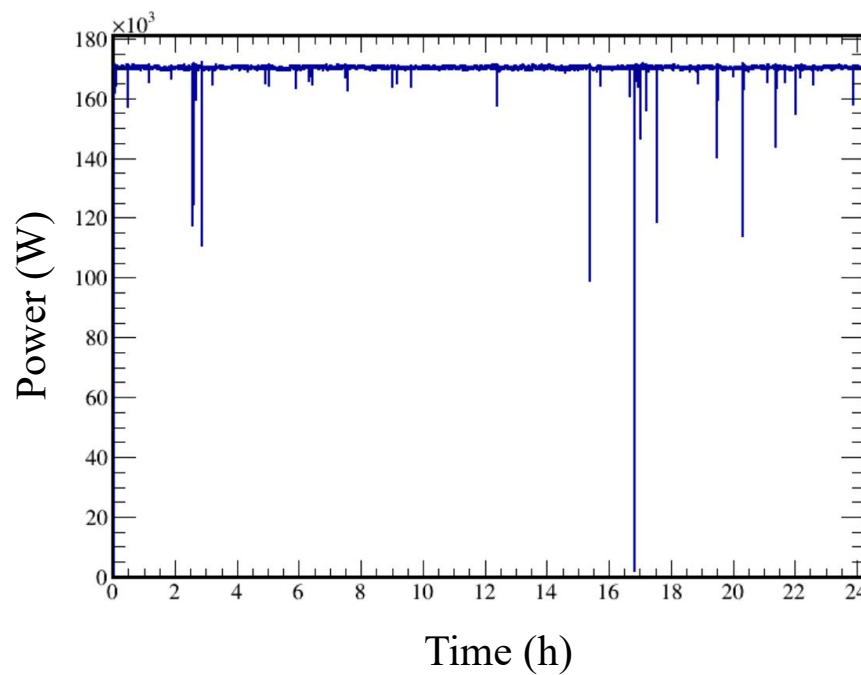
通量谱归一

误差分析

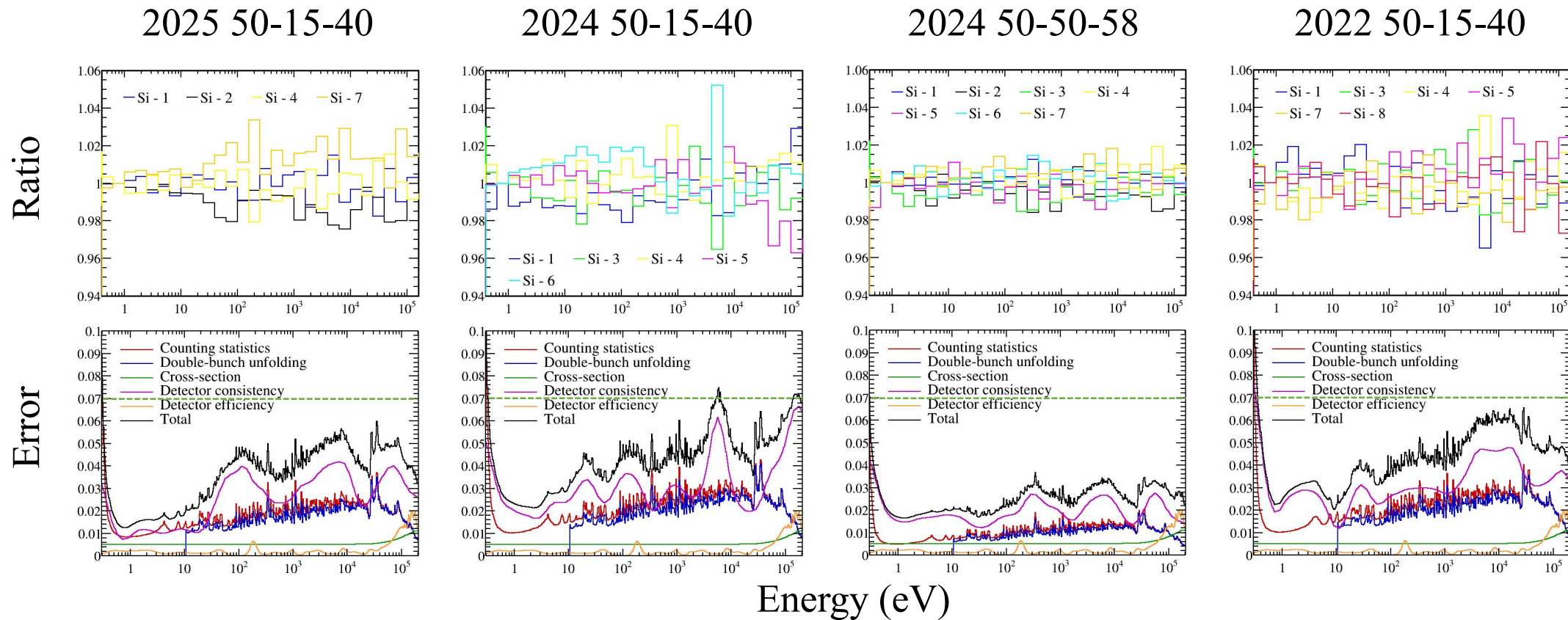
探测效率^[1]



质子打靶功率

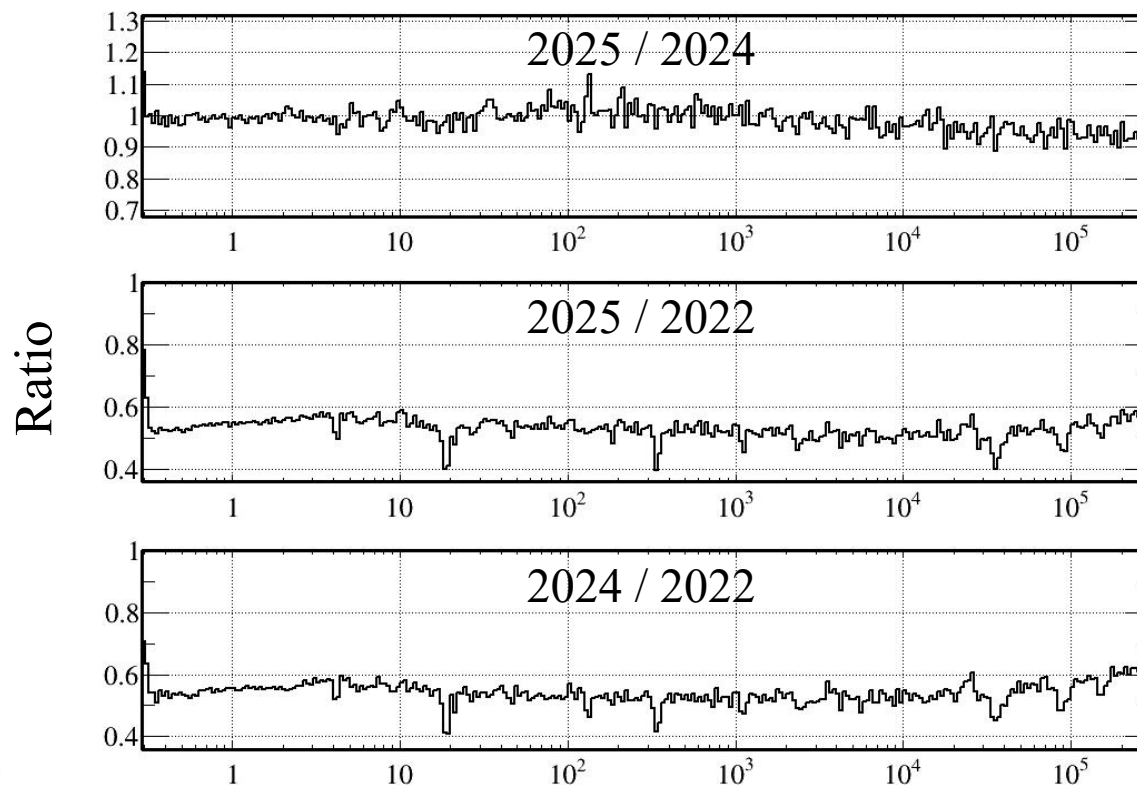
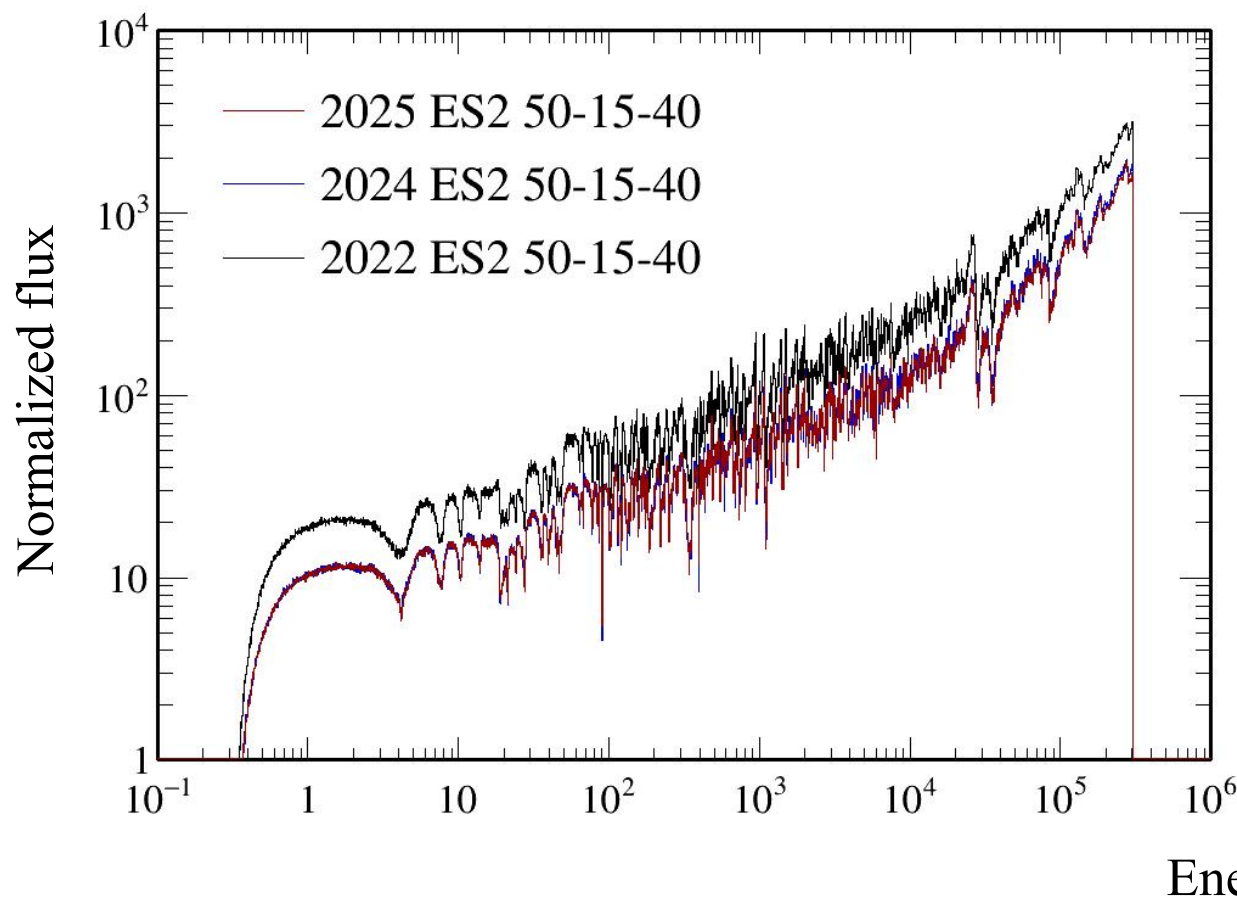


- 研究背景
- 测量方法
- 数据分析
- **不同条件下能谱对比**
- 总结



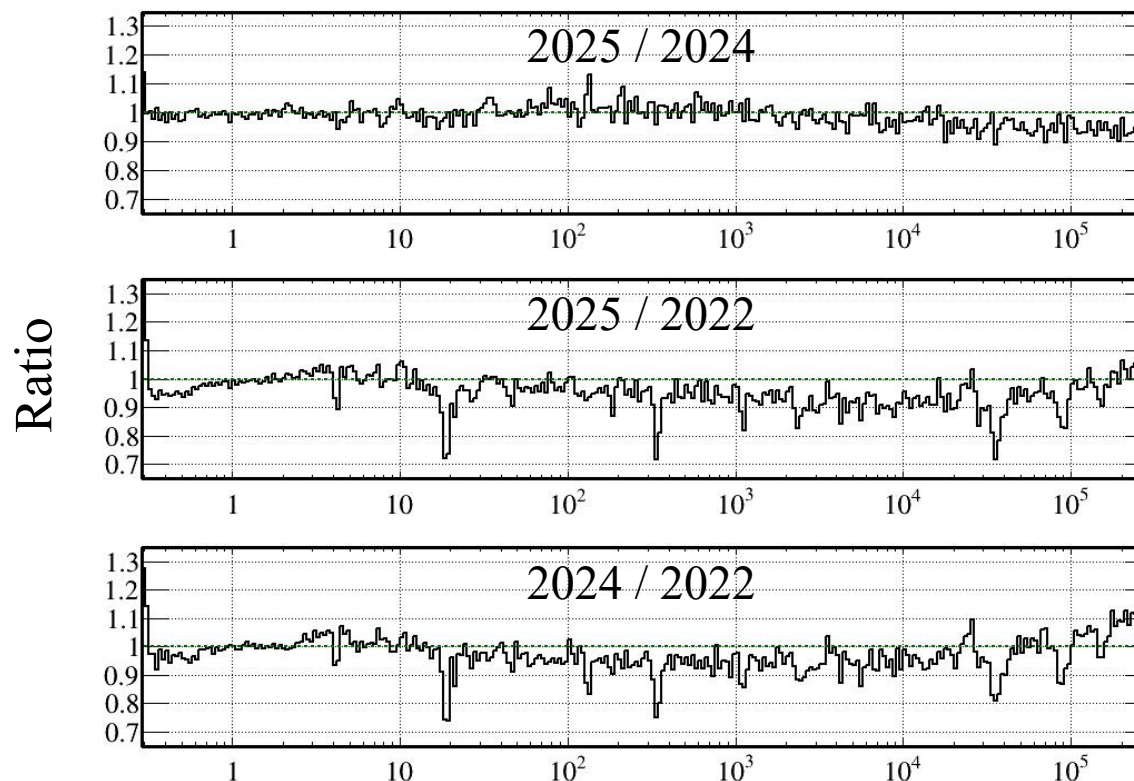
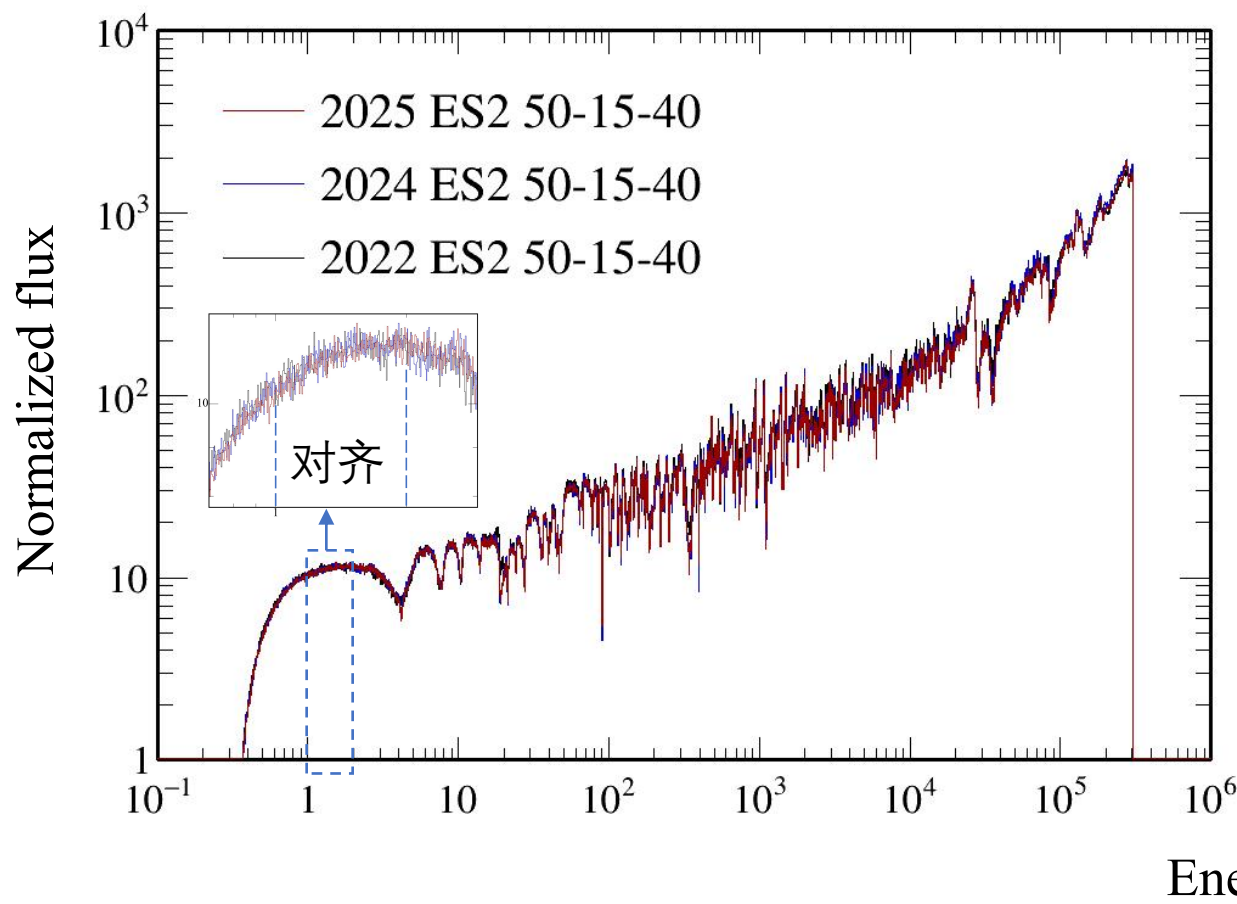
探测器一致性 $\pm 6\%$ ，100 bpd 能谱总误差 $\leq 7\%$

2022-2025能谱流强变化



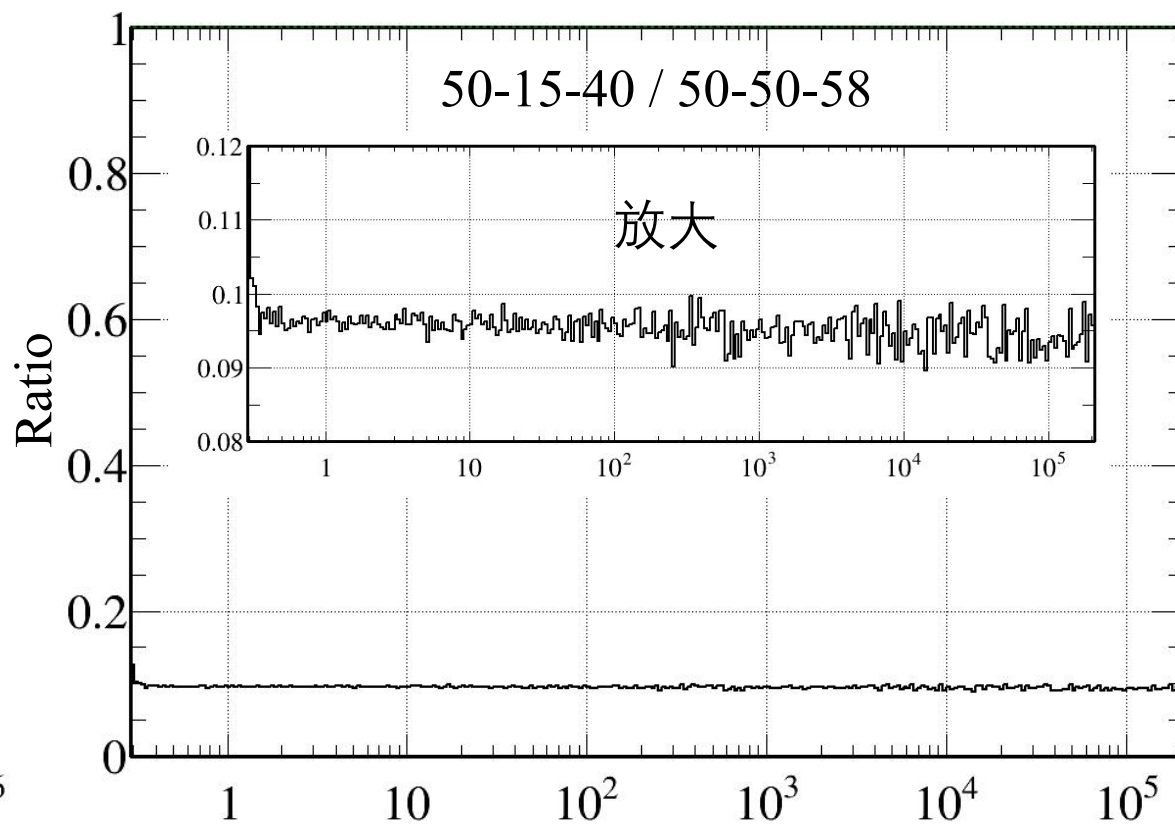
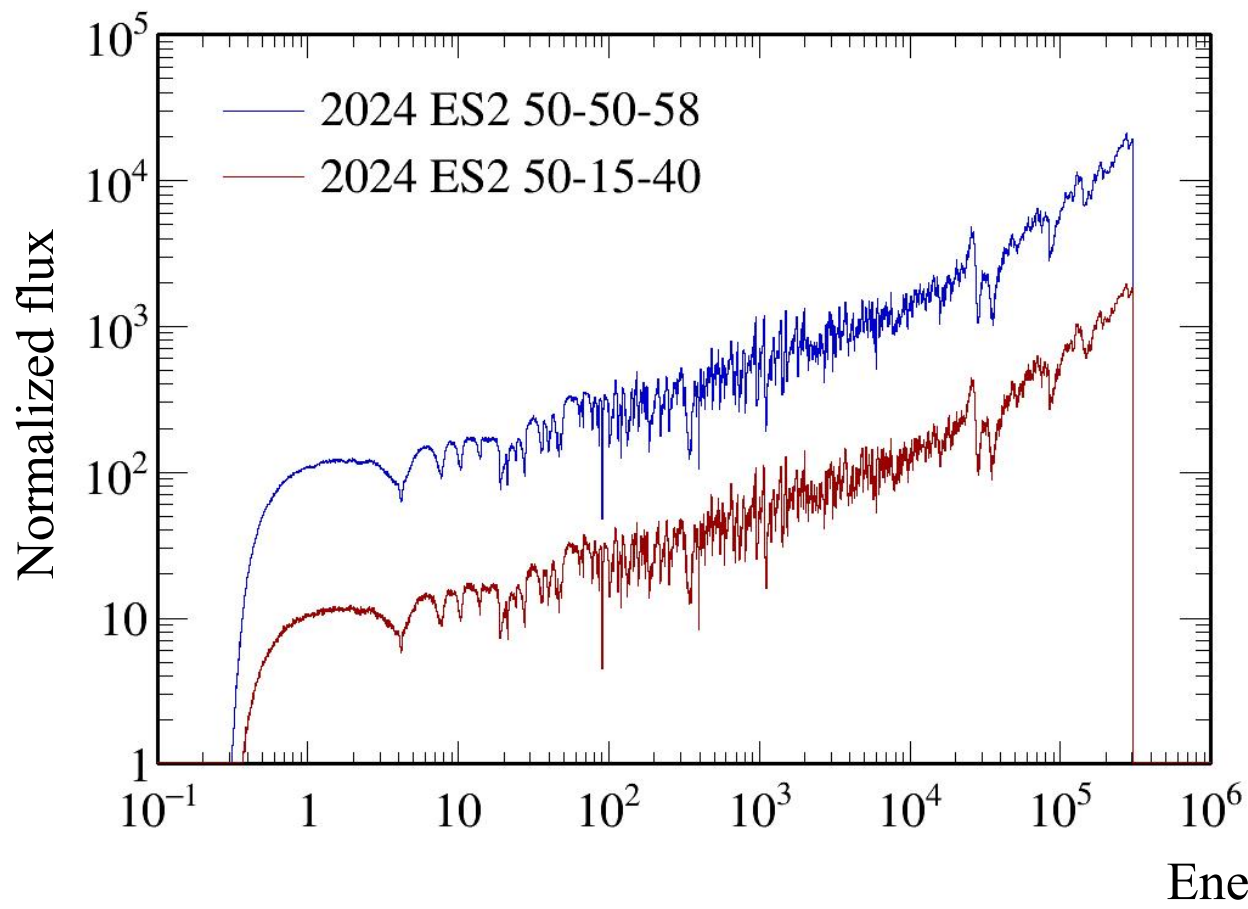
- 2025年换靶后，除130 eV处增大13%，1 keV前无明显变化，1 keV后流强逐渐下降，最大降幅约10%
- 2024年暑期换质子束窗后，在1 eV~20 eV下降45%~50%，20 eV后下降50%~60%，最大61%

2022-2025能谱形状对比



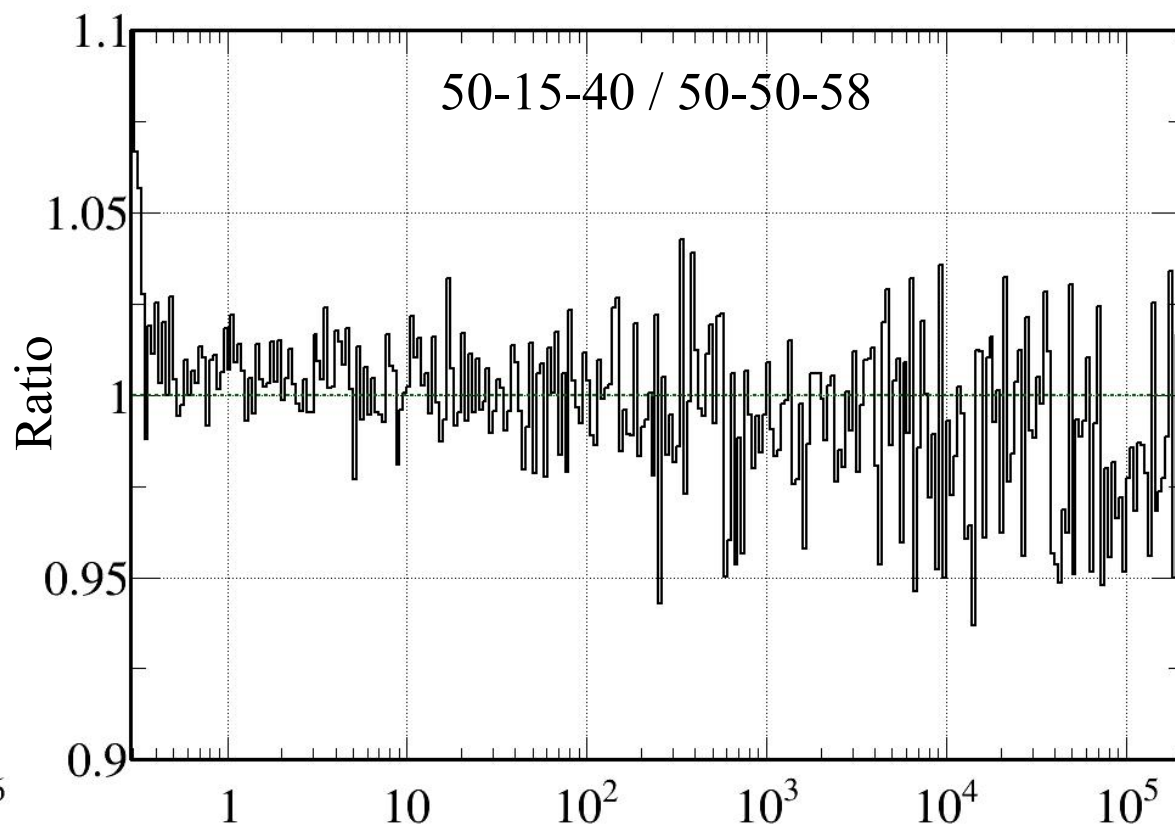
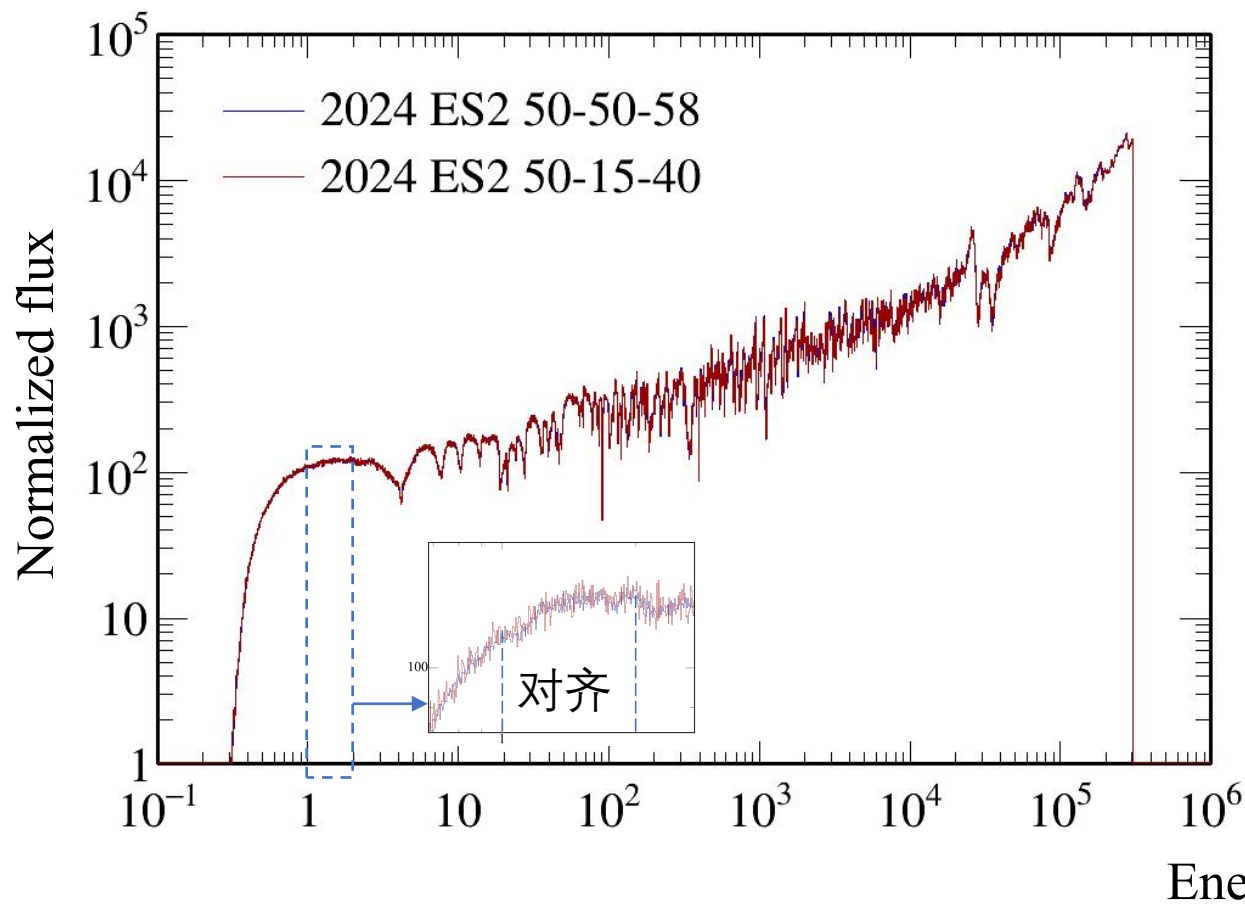
- 2025年换靶后，除130 eV处差距最大13%，0.3 eV~1 keV差距<5%，1 keV后差距增大至10%
- 2024年暑期换质子束窗后，除个别峰差距20~28%，0.3 eV~1 keV差距<10%，1 keV后<15%

厅二不同束斑能谱流强对比



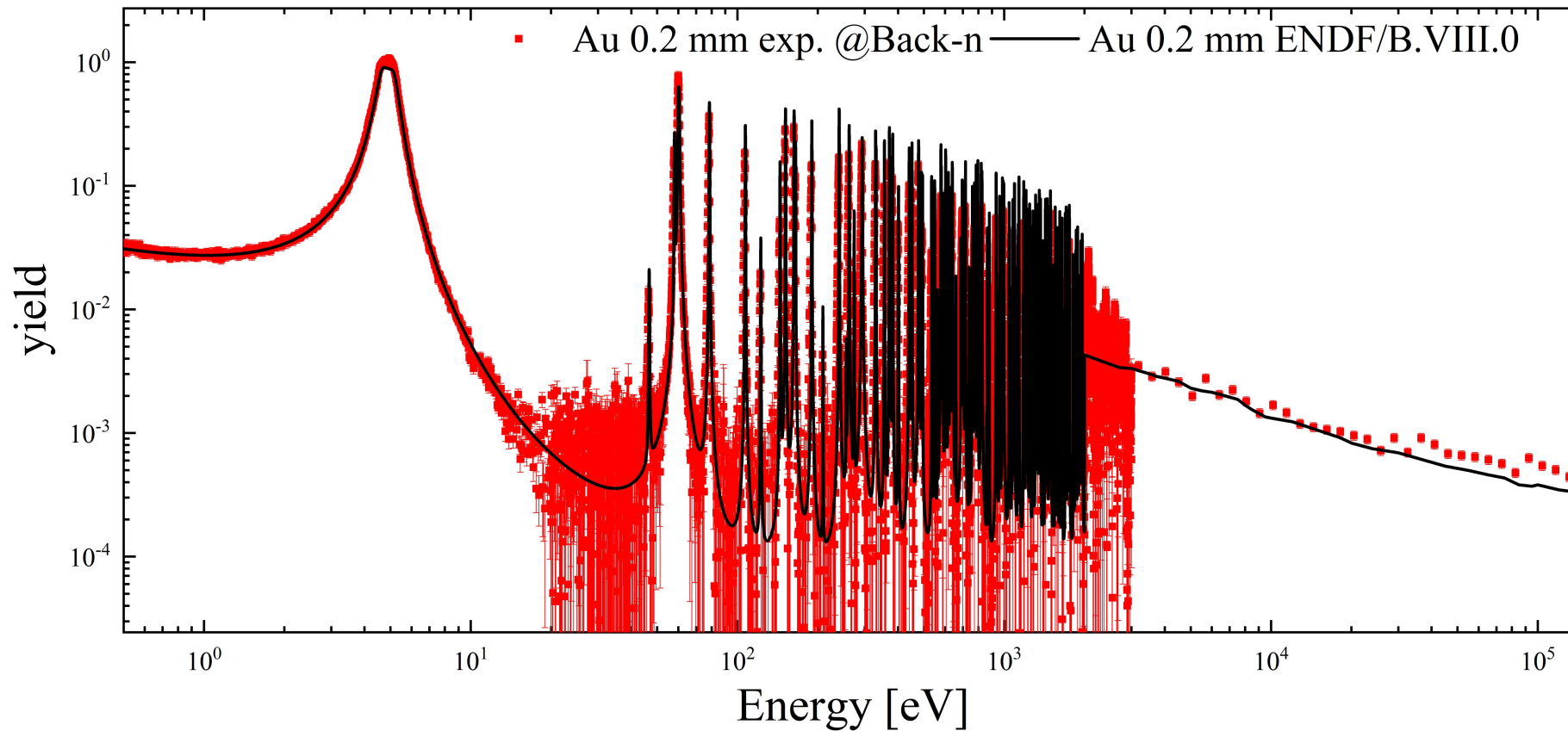
50-15-40束斑的流强为50-50-58束斑的**5%~10%**

厅二不同束斑能谱形状对比



50-15-40 和 50-50-58 能谱基本一致，差距 $\leq 6.5\%$ ，认为与误差相当

使用2025年50-15-40能谱获取金的中子俘获截面^[1]



2025年50-15-40能谱准确可用

- 研究背景
- 测量方法
- 数据分析
- 不同条件下能谱对比
- **总结**

1. 基于 $^6\text{Li-Si}$ 获取了Back-n实验厅2在更换质子束窗、靶体后中低能区较为详细精确(100/500 bpd)的能谱, 100 bpd能谱总误差 $\leq 7\%$ 。
2. 2025换靶影响: 厅2 50-15-40束斑下, 2025年相较2024年, 0.3 eV~1 keV流强无明显变化, 1 keV后逐渐下降(最大10%), 形状在0.3 eV~100 eV差距 $< 5\%$, 100 eV后差距增大至10%, 说明**换靶略降低keV能区流强、改变eV~keV能区能谱形状**。
3. 2024暑期更换质子束窗影响: 厅2 50-15-40束斑下, 2025、24年相较22年, 1 eV~20 eV流强下降45%~50%, 20 eV后下降50%~60%(最大61%), 形状在0.3 eV~1 keV差距 $< 10\%$, 1 keV后 $< 15\%$, 说明**新质子束窗降低eV~keV流强并改变形状**。
4. 厅2中, 2024年50-15-40为50-50-58束斑的流强的5~10%, 形状差别 $< 6.5\%$ (与不确定度相当), 说明**50-15-40与50-50-58束斑相比仅流强降低, 能谱形状差异较小**。

Thank you