

应用于反角白光中子源的锂 玻璃探测器研究

报告人: 吕游

散裂中子源科学中心

2026年7月15日、衡阳

2026年第十届CSNS白光中子实验装置用户研讨会

- ◆ 锂玻璃探测器
- ◆ 白光束流实验
 - 锂玻璃探测器刻度
 - 镧靶宇称破缺测量
 - 锂硼玻璃探测器研究
- ◆ 总结

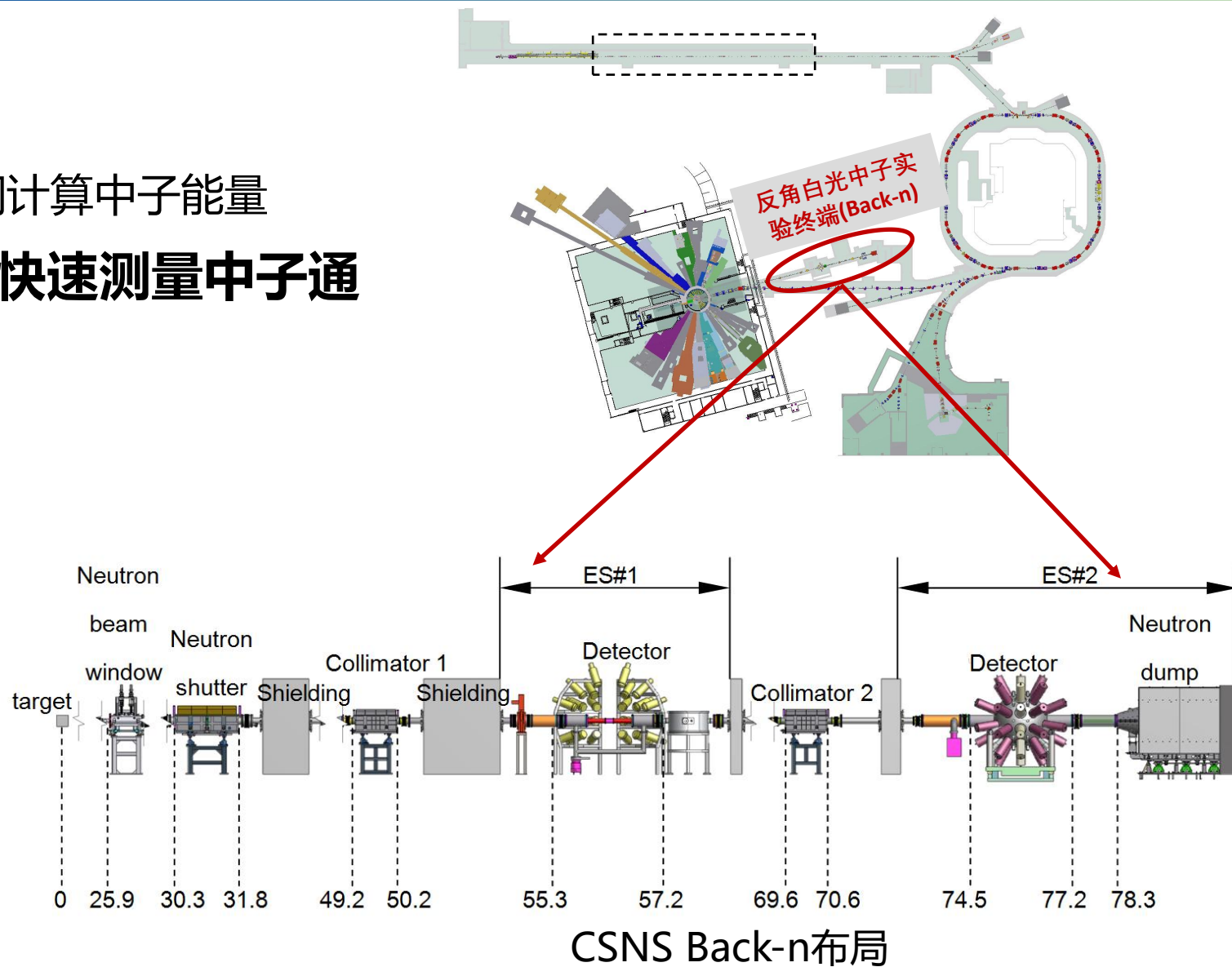
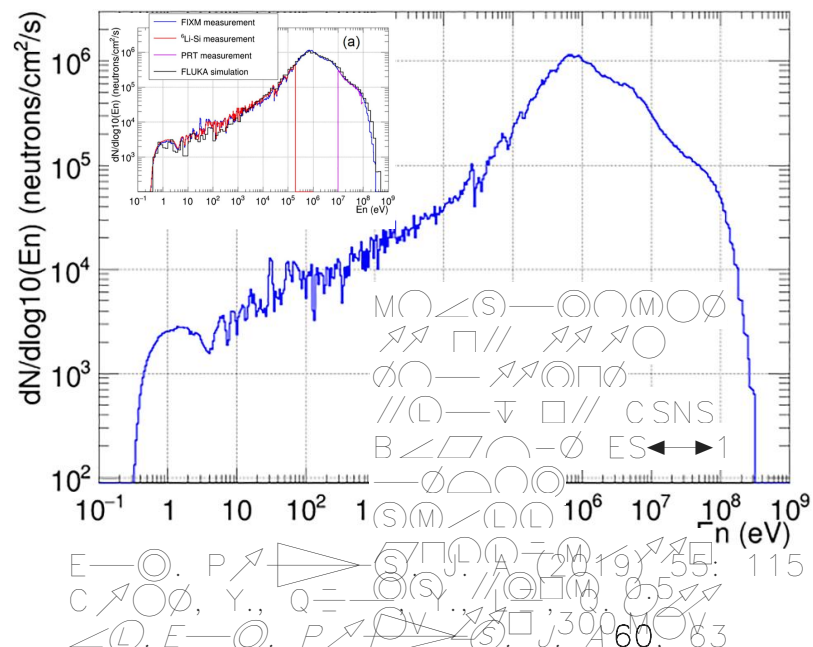
反角白光中子源装置

◆反角白光中子源：Back-n

- 能量范围宽、能量分辨好
- 准直器调节中子通量、飞行时间计算中子能量

◆NOPTREX实验、能谱测量，快速测量中子通量、响应快、效率高

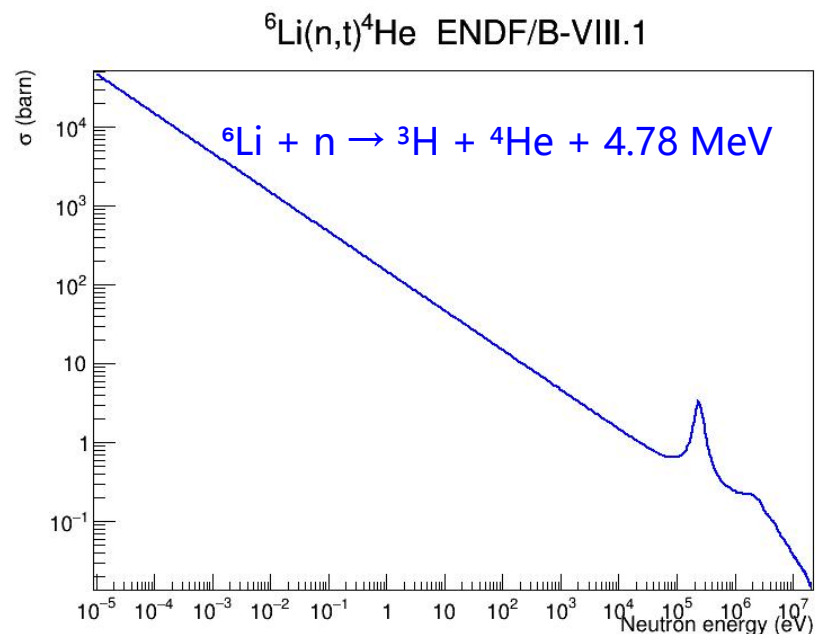
◆锂玻璃探测器，



锂玻璃探测器

◆工作原理

- 中子被 ${}^6\text{Li}$ 俘获产生 α 粒子和氚，使闪烁体发光
- 光子经光导传输至光电倍增管(PMT)，转化为电信号输出



${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ 反应截面

◆探测器性能特点

- **结构简单**
- **响应快**，发光衰减时间：~53ns
- 热中子-百keV能区



锂玻璃照片

锂玻璃探测器研制

◆ 分别研制了基于GS20锂玻璃、 国产锂玻璃的探测器

	GS20锂玻璃	国产锂玻璃
玻璃尺寸	5cm*5cm*1mm	Φ76mm*1mm
$^6\text{Li}/^7\text{Li}$ 丰度	$\geq 95\%$	$^6\text{Li} \geq 95\%$; ^7Li 自然丰度
PMT型号	滨松H1949-51	CR160
PMT管尺寸	51mm	70mm
典型工作电压	-2500V	1500V
典型增益	2×10^7	2.73×10^5

锂玻璃探测器参数

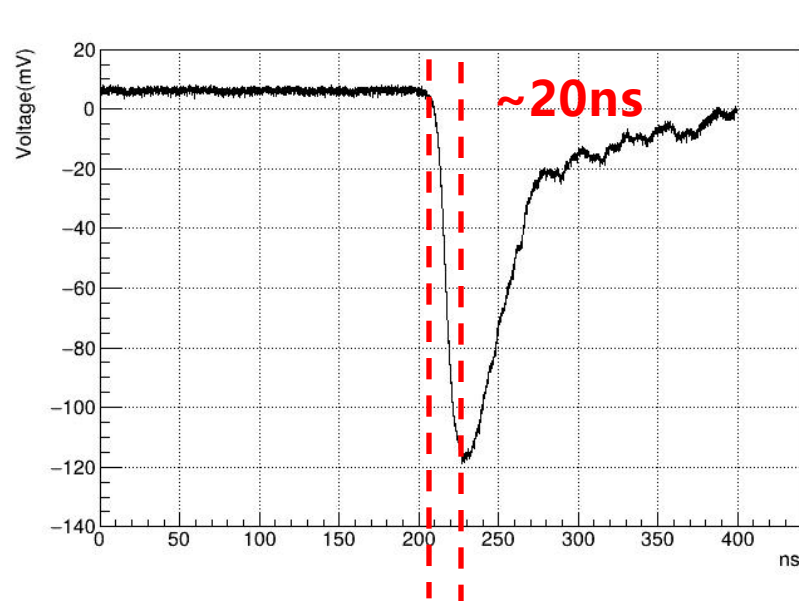


锂玻璃探测器照片

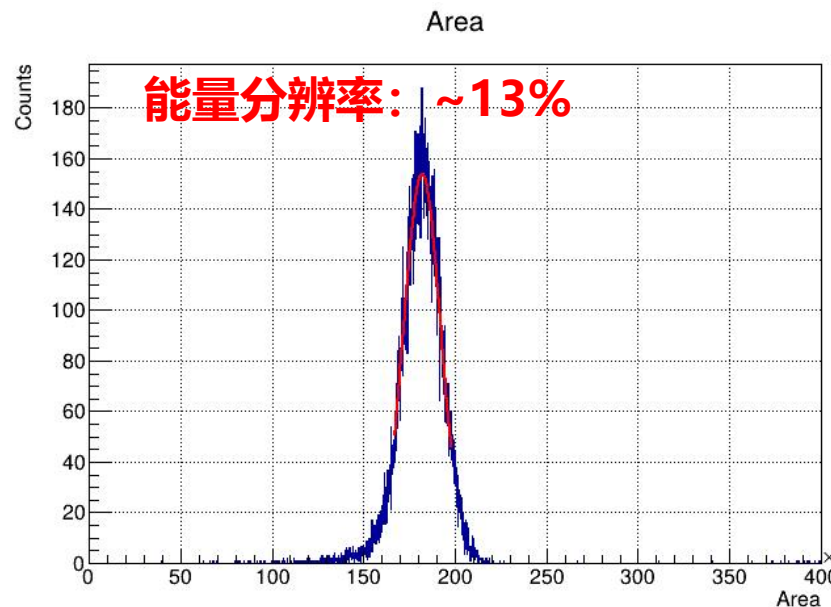
放射源测试

◆ ^{241}Am (4MeV α) 放射源测试

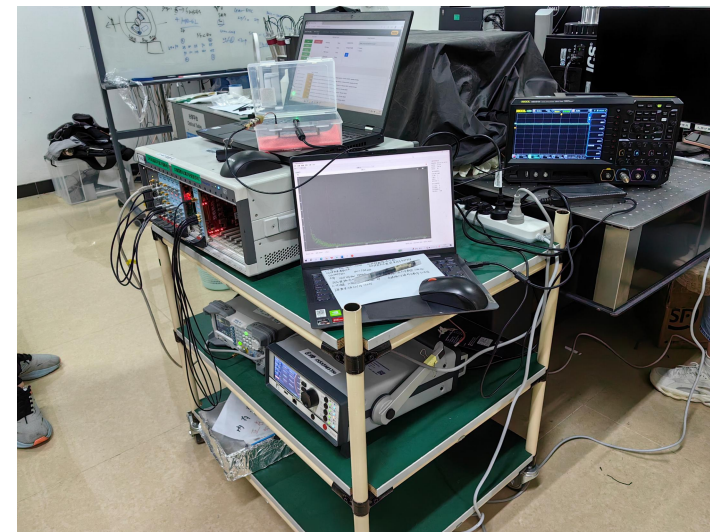
- 信号上升时间: $\sim 20\text{ns}$
- 信号全宽: $\sim 200\text{ns}$
- 能量分辨率: $\sim 13\%$



典型信号波形 ns/6.4



信号面积谱



报告概要

◆ 研究背景

◆ 白光束流实验

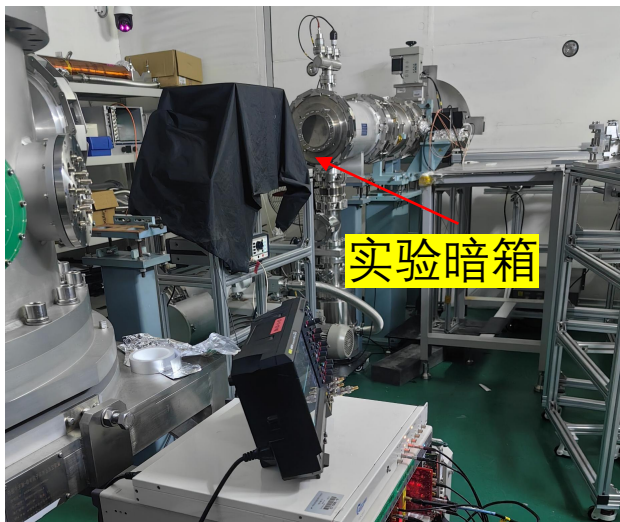
- 锂玻璃探测器刻度
- 镧靶宇称破缺测量
- 锂硼玻璃探测器研究

◆ 总结

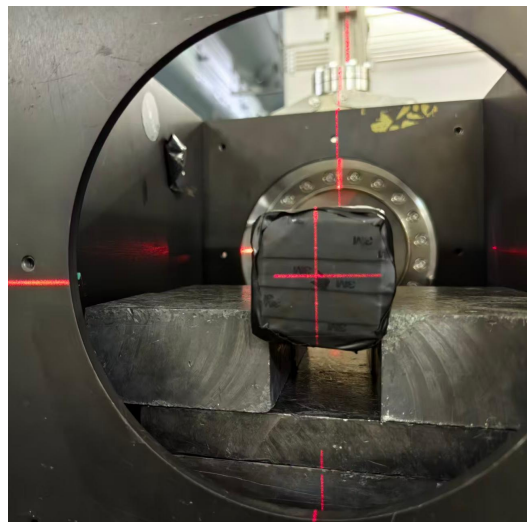
探测器刻度束流实验

◆ 在Back-n开展中子束流实验，对GS20锂玻璃、国产锂玻璃探测器**信号响应**、**探测效率**进行测试

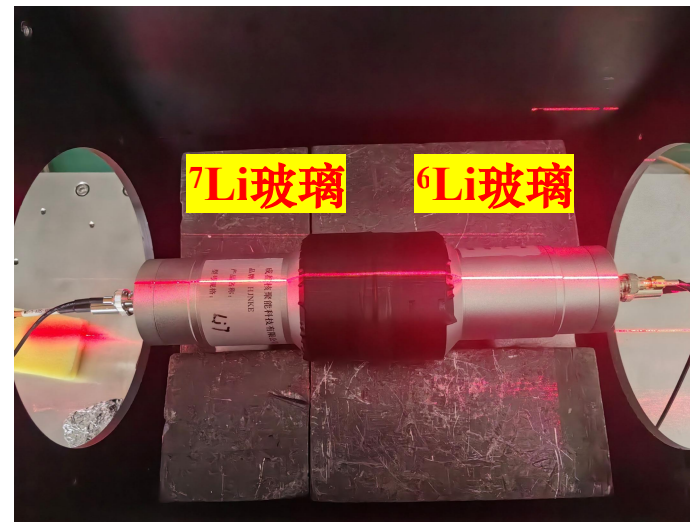
- 实验位置：厅一
- 束斑条件：50-15-58/3-15-58
- 吸收片：无吸收片/镉、银、钴吸收片
- 数据采集：白光共用电子学



实验照片



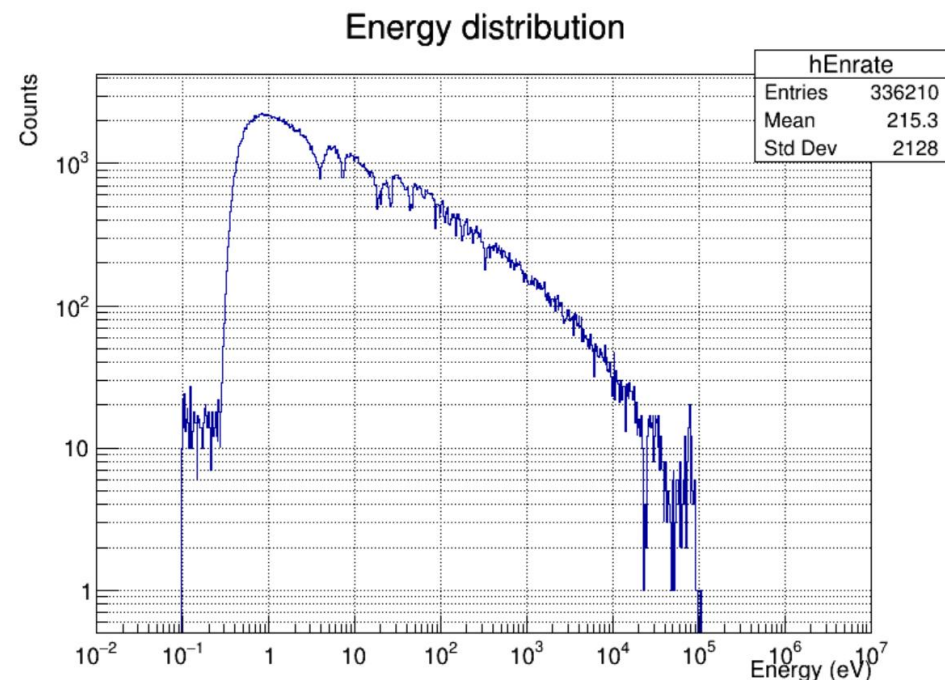
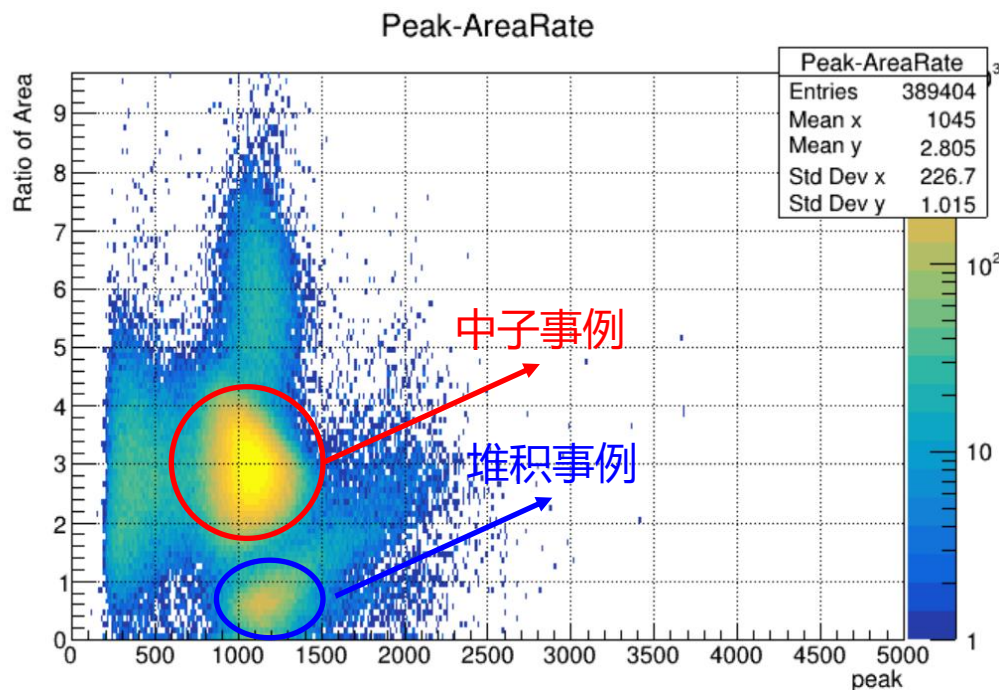
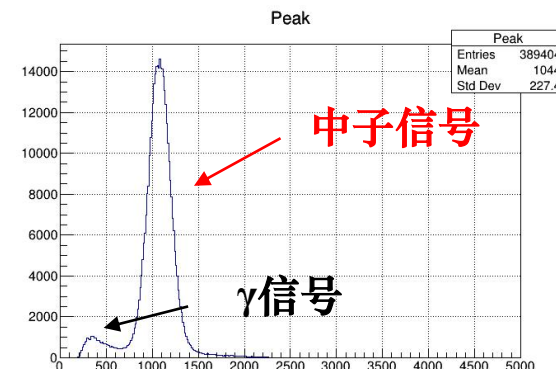
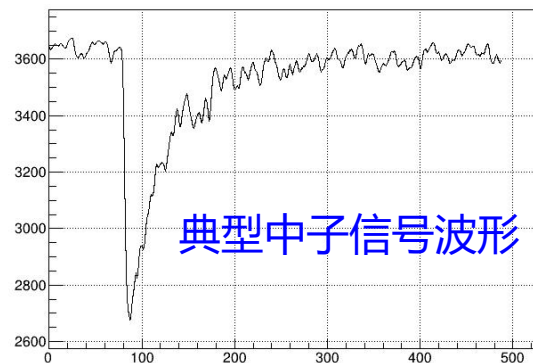
GS20锂玻璃探测器



国产 ^6Li 、 ^7Li 玻璃探测器

GS20锂玻璃

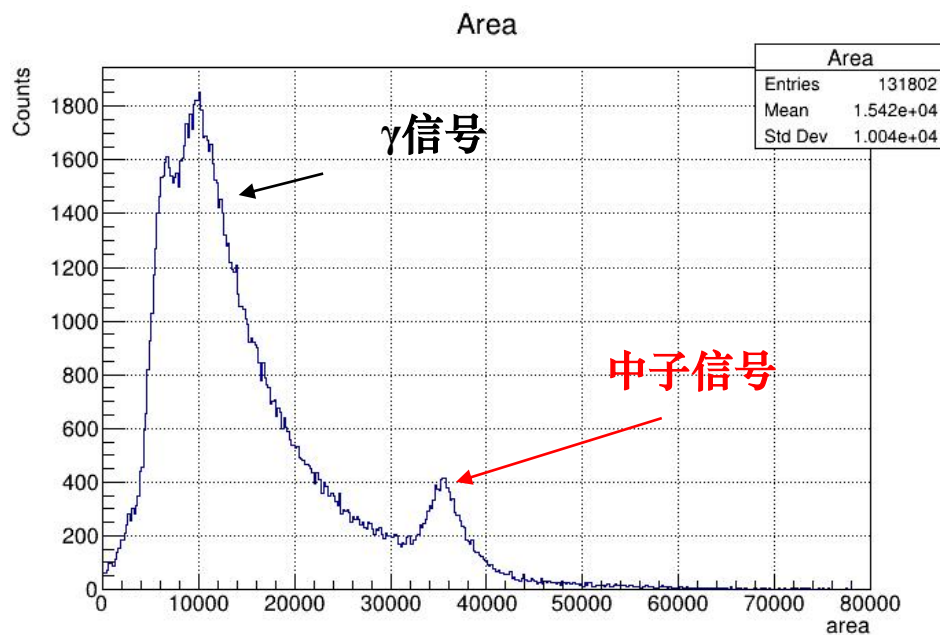
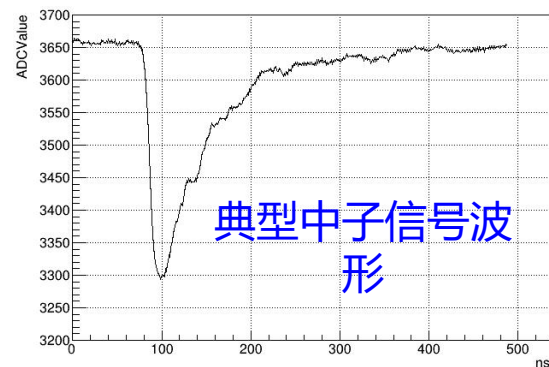
- γ 本底少、探测器响应快
- 事例筛选



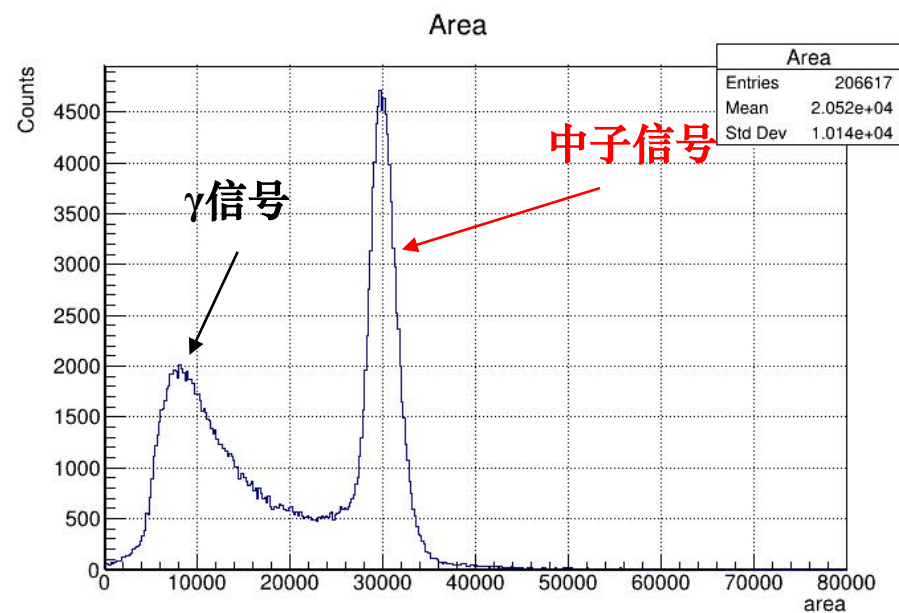
白光中子计数谱 (无效率修正)

^6Li 、 ^7Li 玻璃探测器

- 背靠背设计
- 相对GS20，国产锂玻璃探测器 γ 本底更高



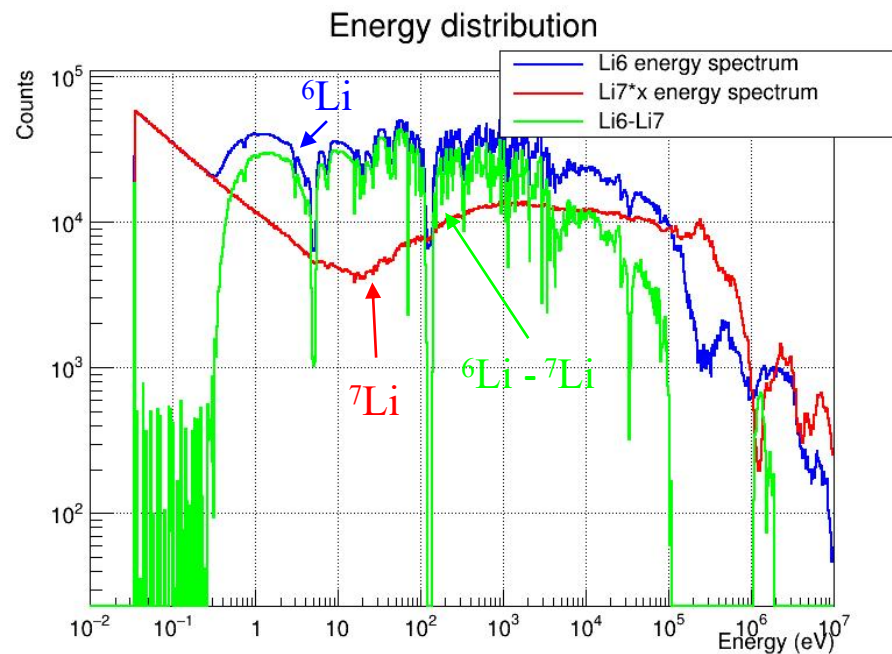
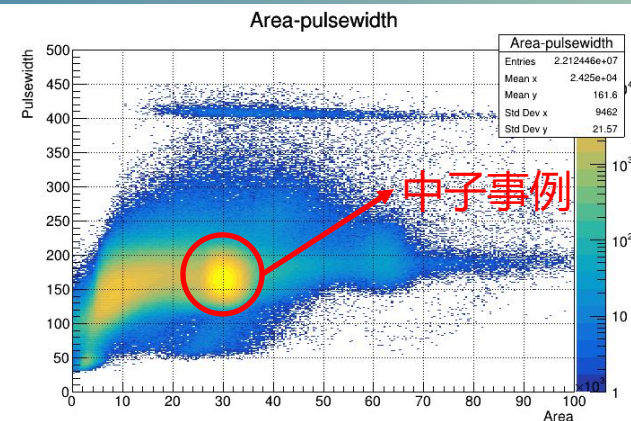
^7Li 探测器波形面积



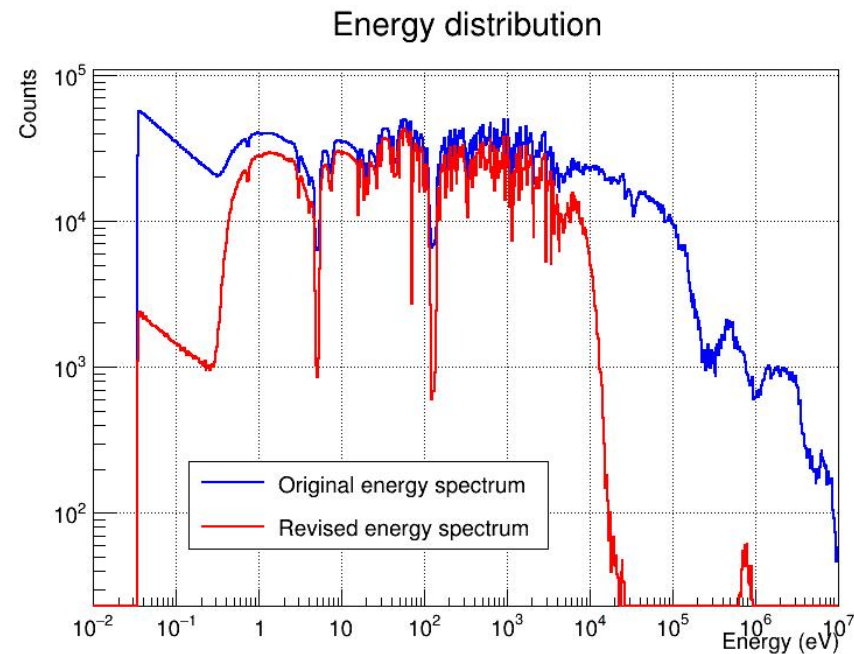
^6Li 探测器波形面积

^6Li 、 ^7Li 玻璃探测器

- ◆ 镅、银、钴吸收片
- ◆ 直接扣除 ^7Li 结果
- ◆ 通过信号幅度、脉宽进行本底扣除



^6Li - ^7Li 结果

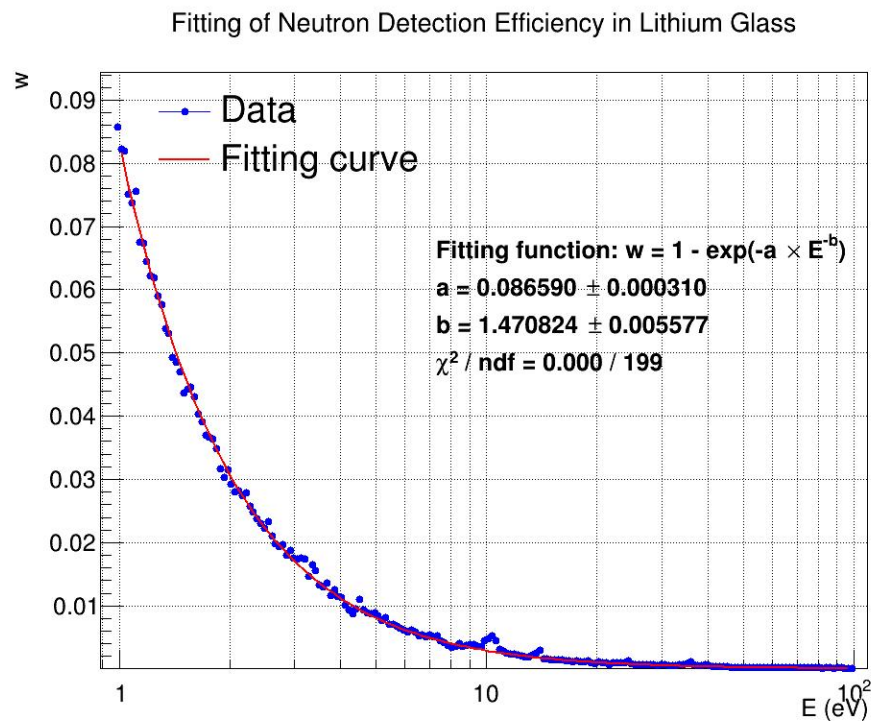


事例筛选结果

探测效率

◆ GS20锂玻璃探测效率

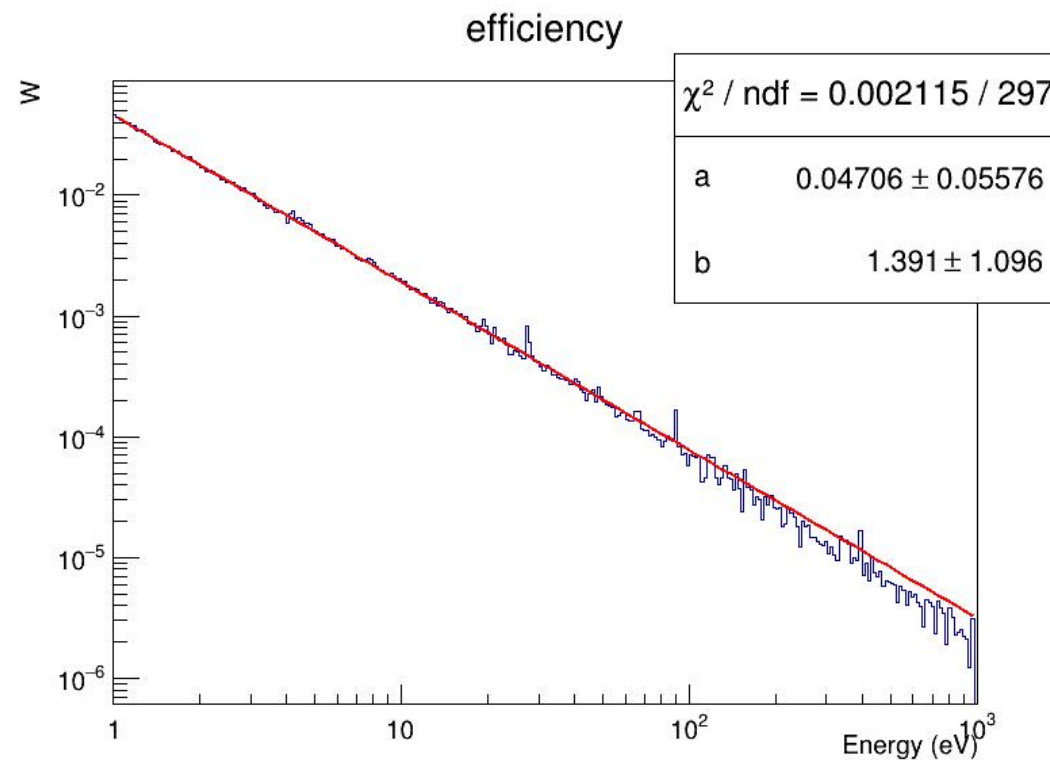
- 1eV: 8.3%
- 0.75eV: 12.4%



GS20锂玻璃

◆ 国产锂玻璃探测效率

- 1eV: 5%
- 0.75eV: 7%

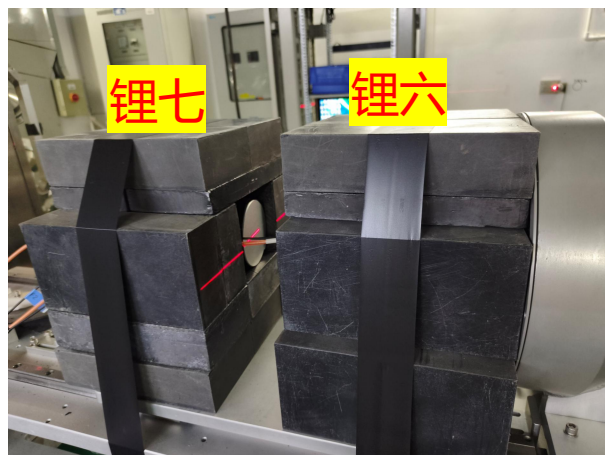
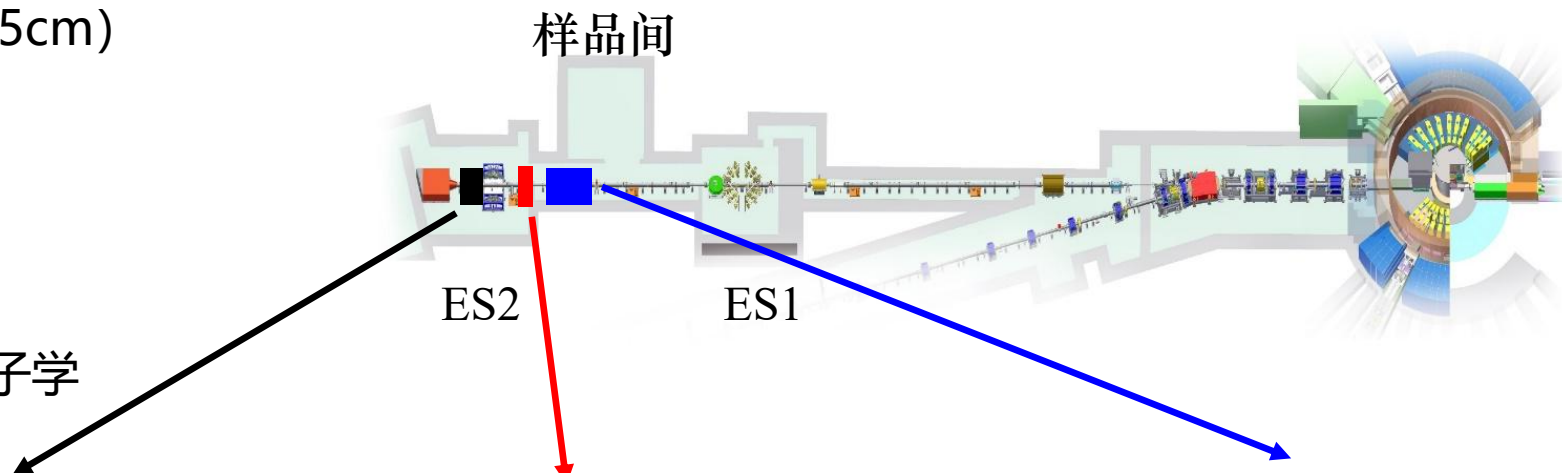


国产锂玻璃

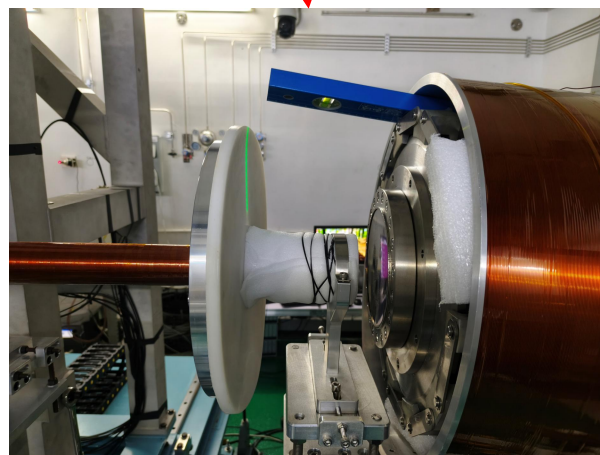
镧靶宇称破缺测量实验设置

◆ NOPTREX合作组实验：依托Back-n开展核素的中子核反应宇称不守恒测量

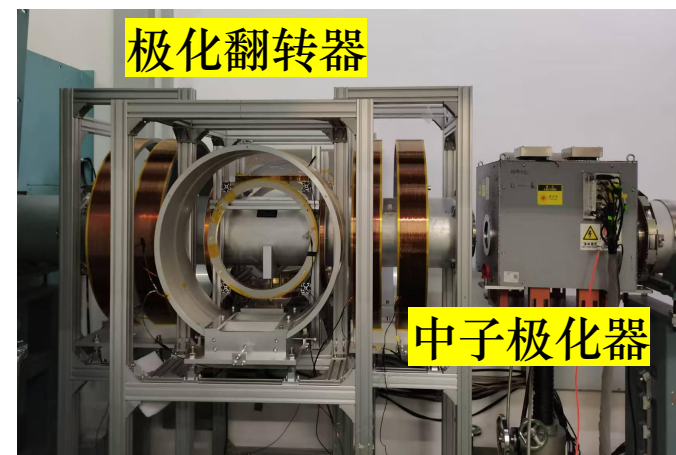
- 实验样品：镧 ($\Phi 5\text{cm} \times 5\text{cm}$)
- 束斑条件：50-15-30
- 吸收片：无
- PMT工作电压：1000V
- 数据采集：白光共用电子学



$^6\text{Li} / ^7\text{Li}$ 探测器



镧(La)靶



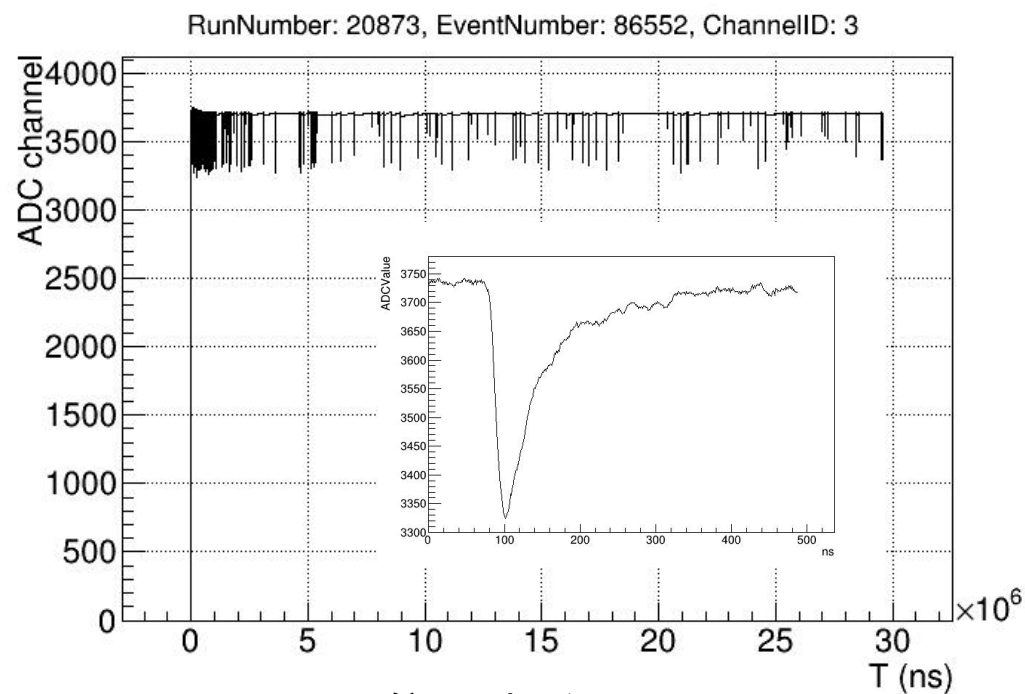
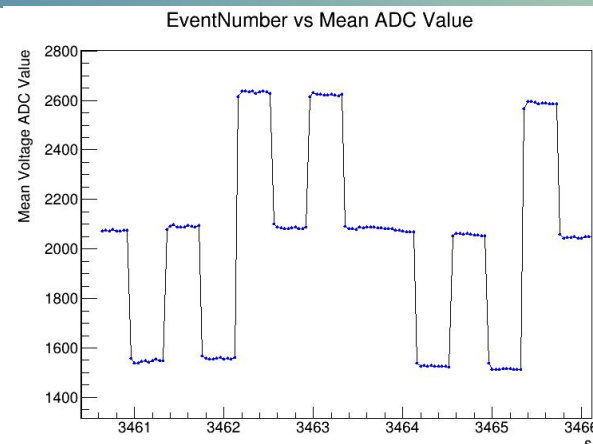
中子极化翻转装置

探测器信号波形

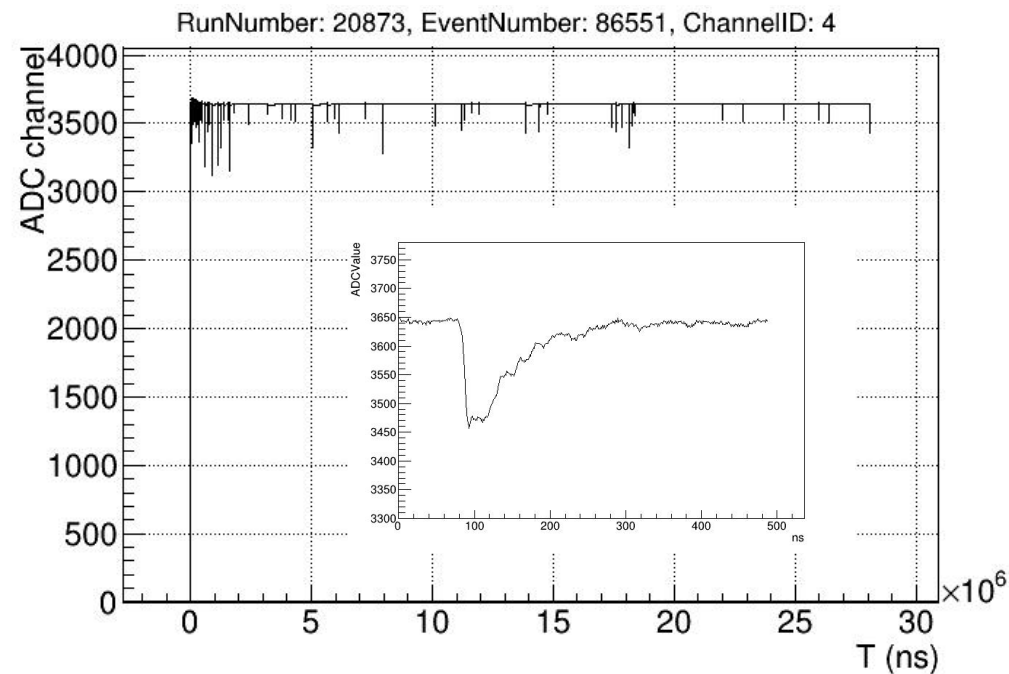
◆ 翻转器电平信号：中子极化方向

◆ ^6Li 探测器信号：中子+ γ

◆ ^7Li 探测器信号：中子+ γ



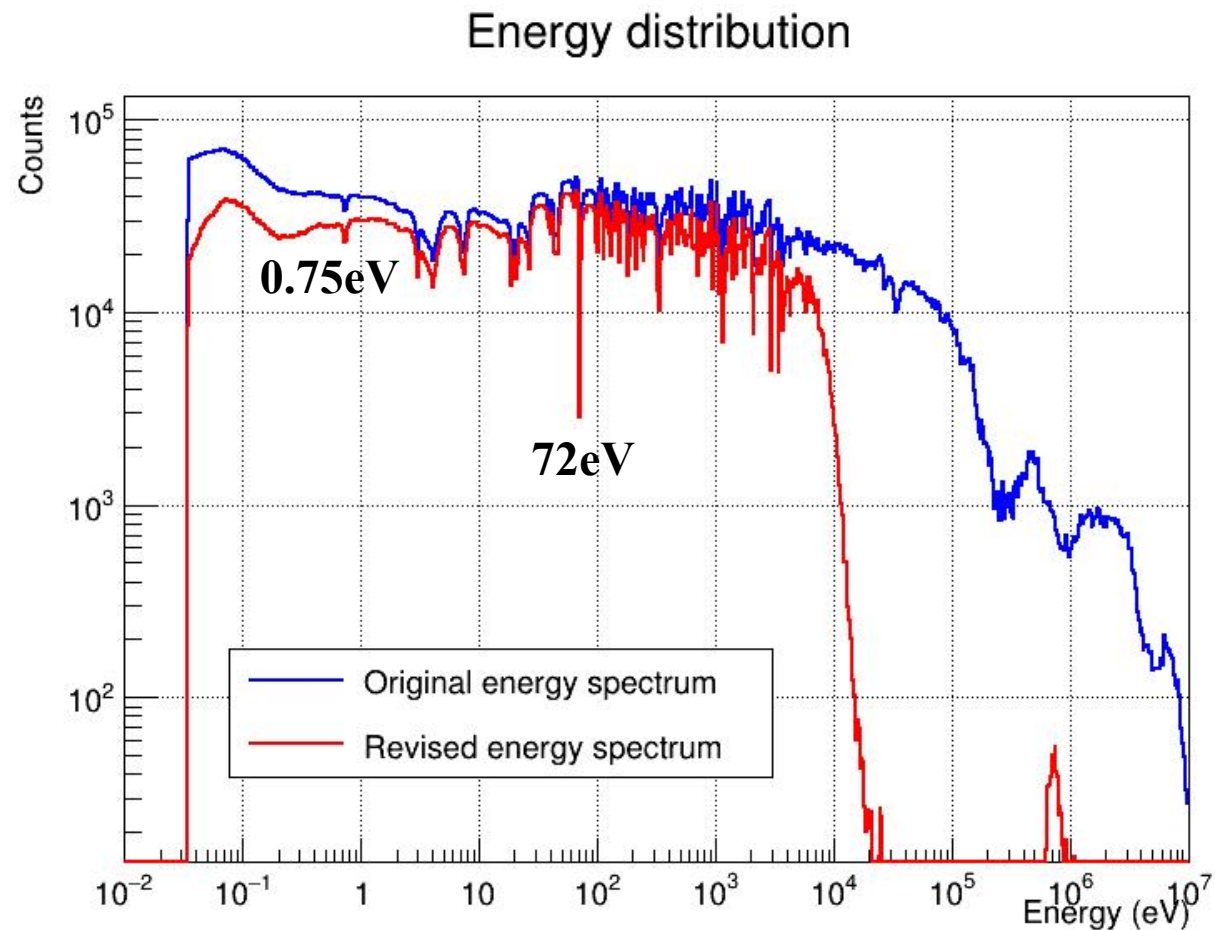
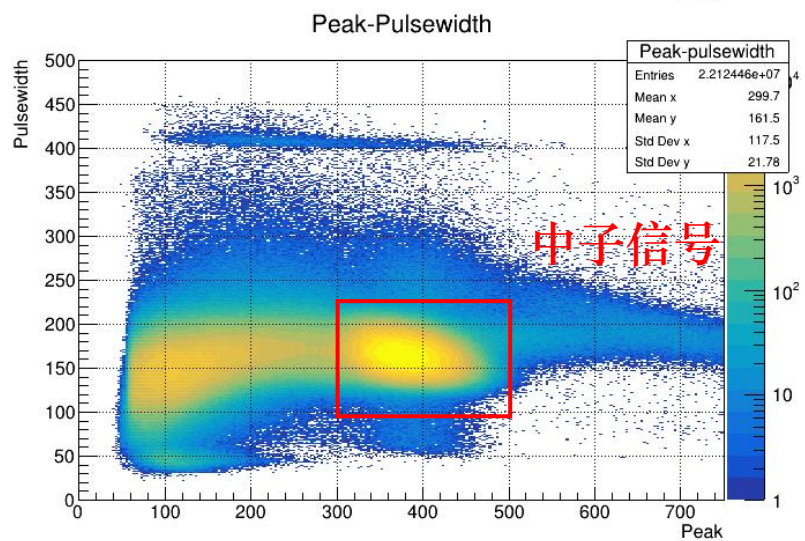
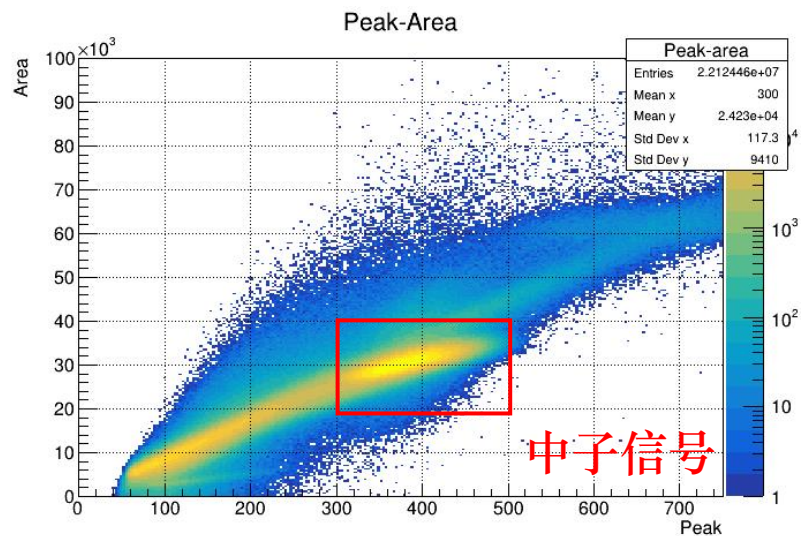
^6Li 信号波形/Pulse



^7Li 信号波形/Pulse

本底扣除

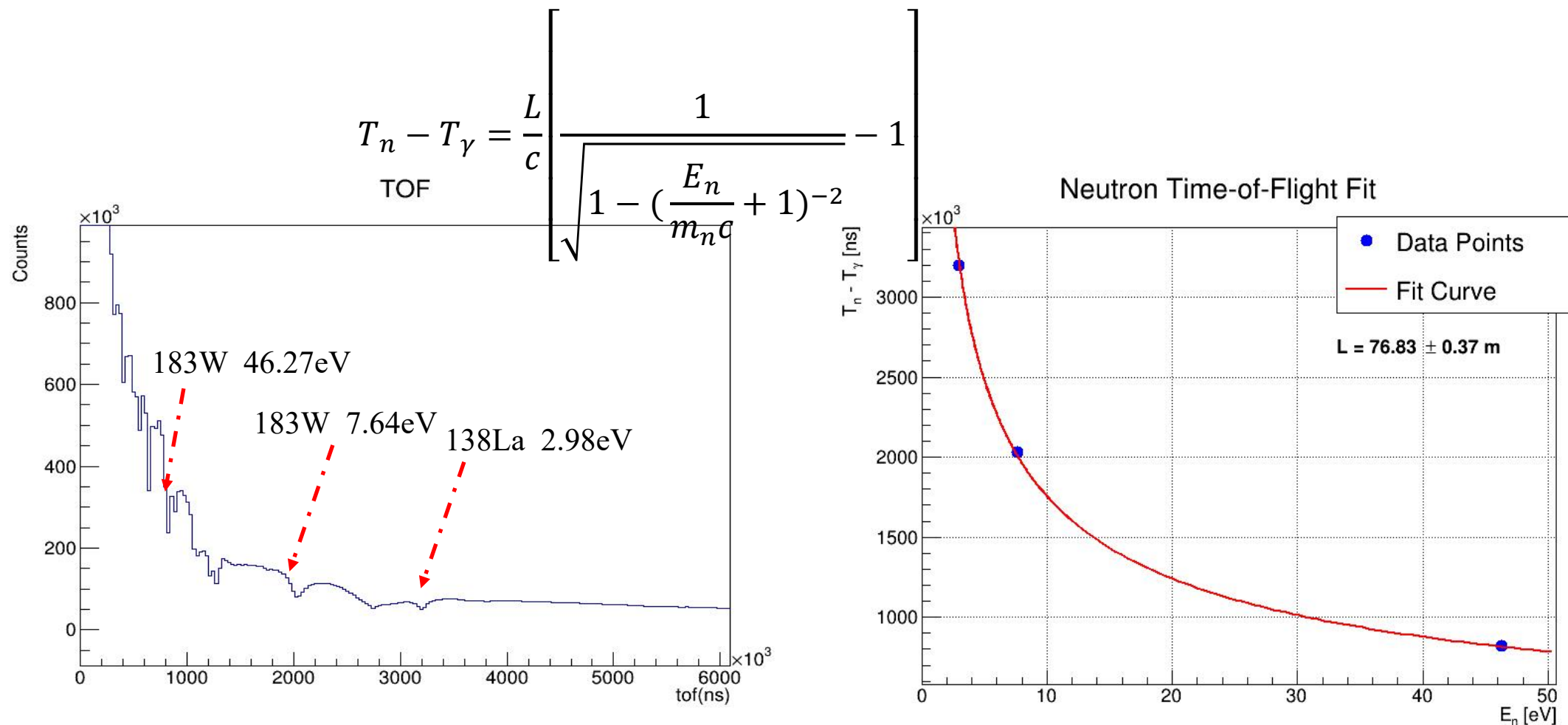
◆ 基于信号波形幅度、脉宽、面积等参数进行事例筛选



本底扣除前后能谱对比

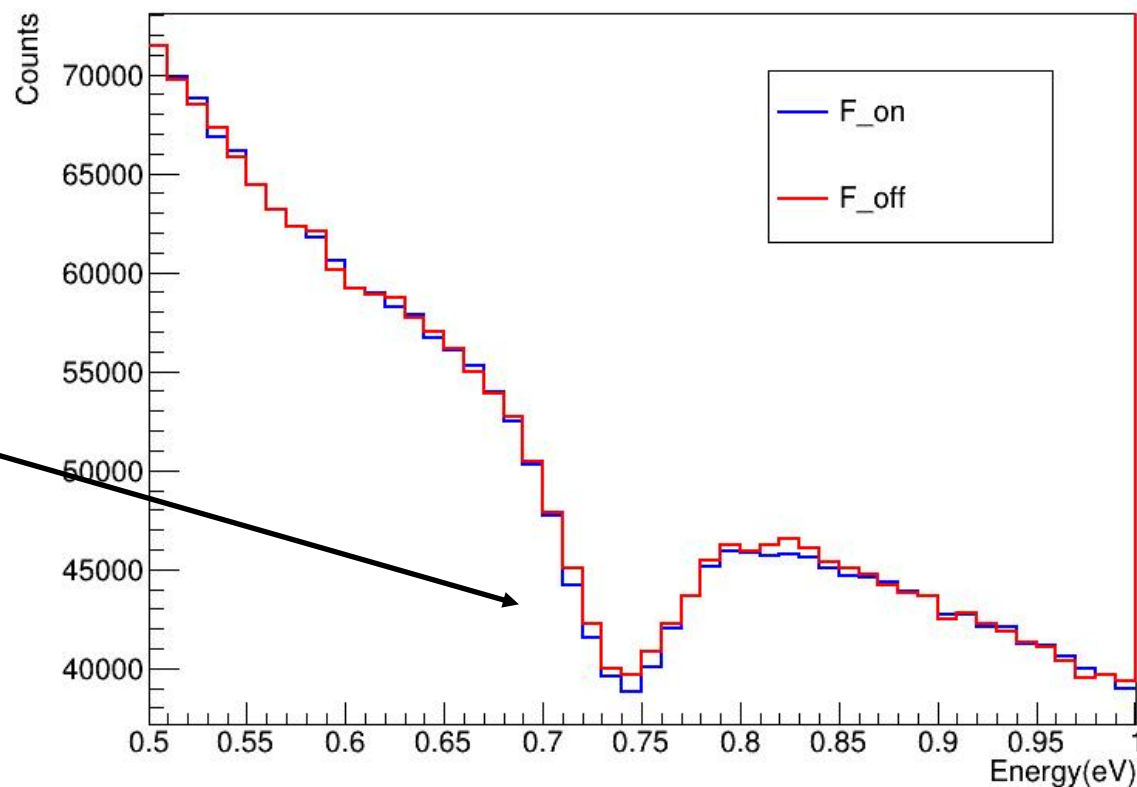
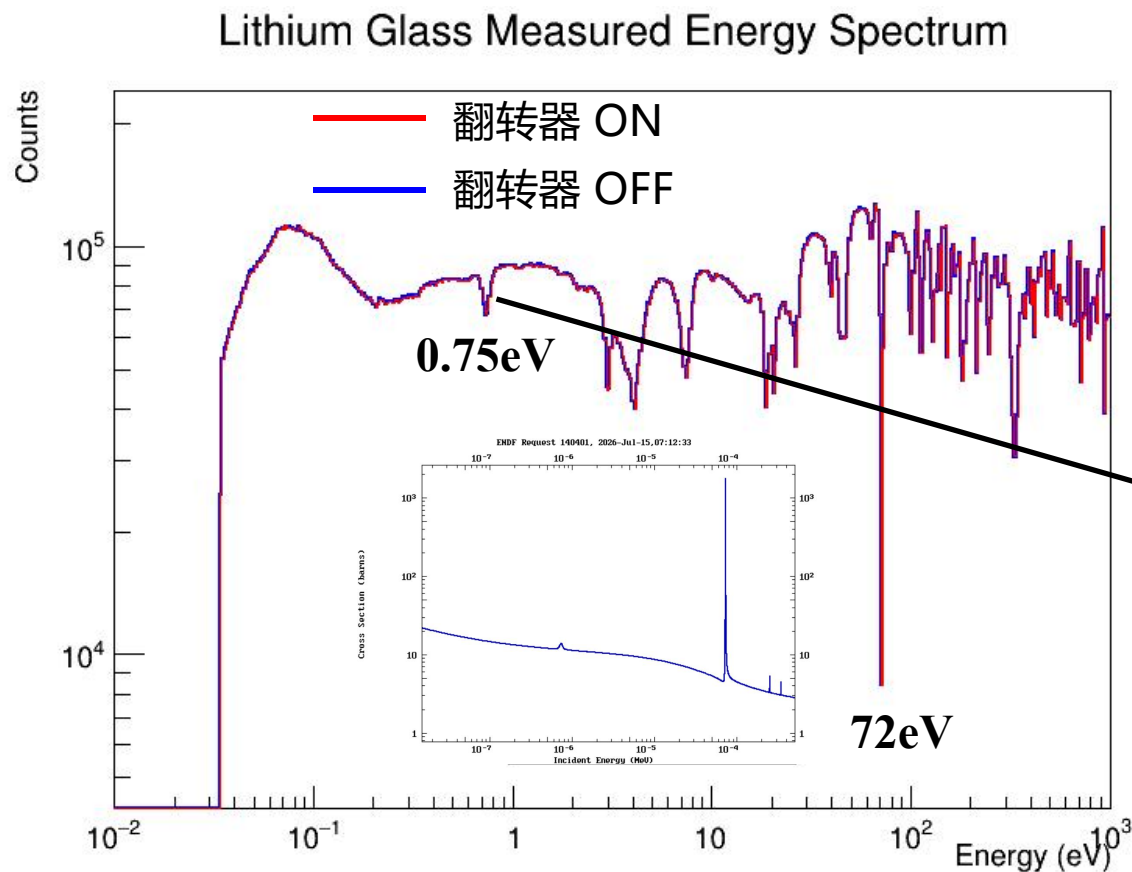
飞行距离刻度

◆ 通过散裂靶以及镭靶的共振峰，刻度飞行距离为**76.8m**



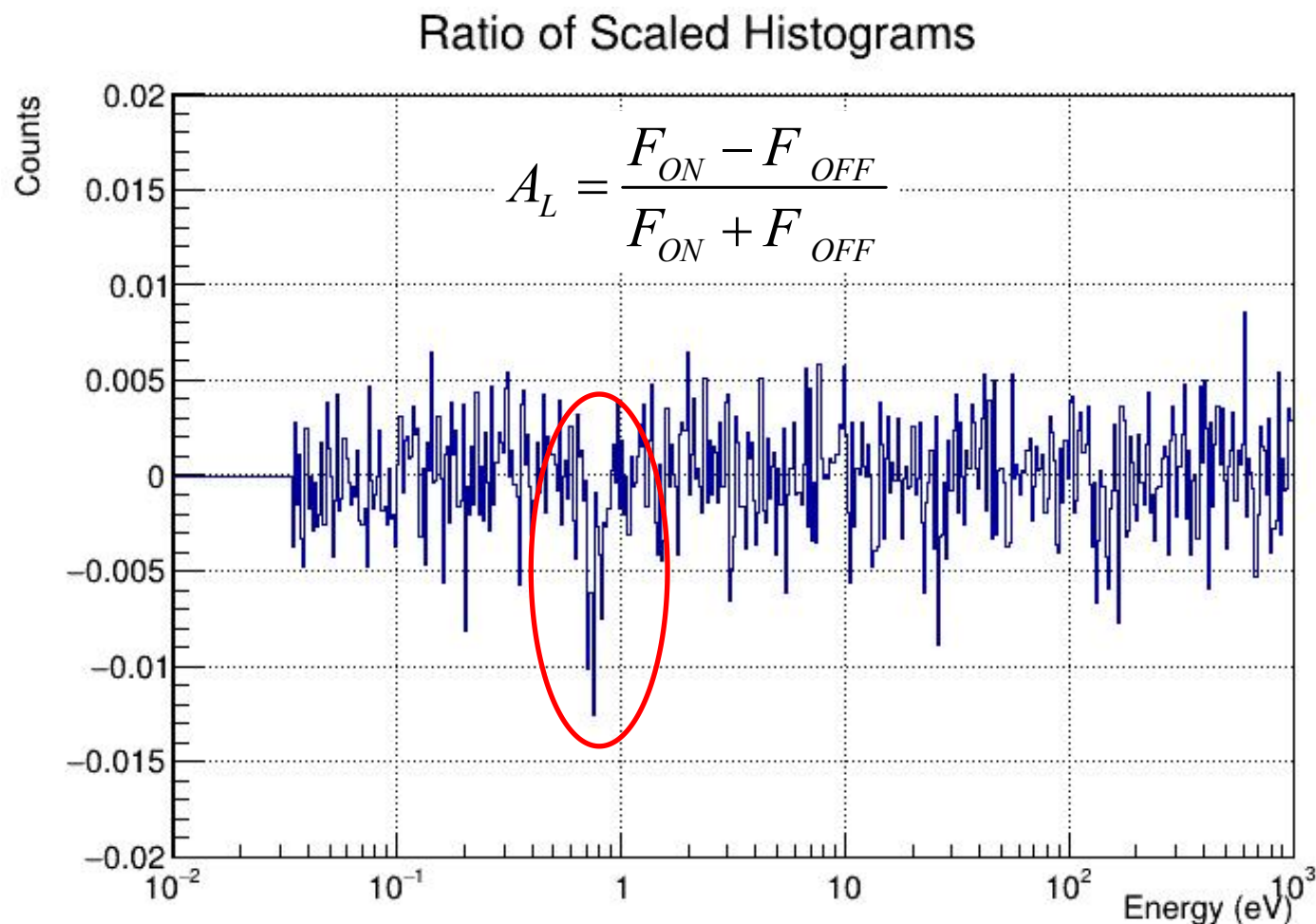
能谱测量

◆ 翻转器不同状态下的能谱



非对称因子

◆采用透射法测量镧靶的宇称破缺，计数不对称性：AL约为1%



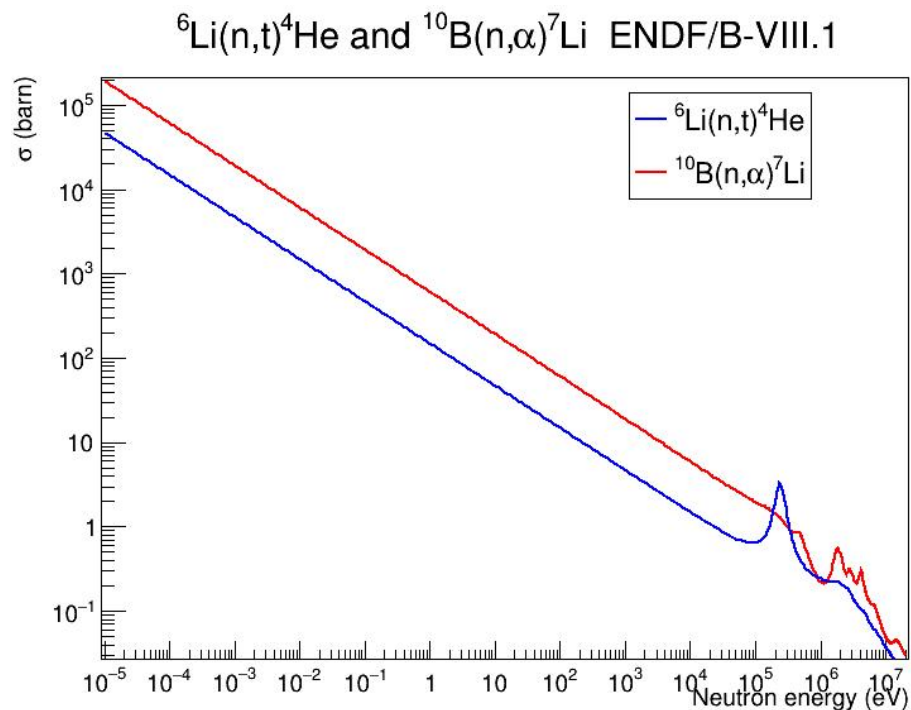
$$\varepsilon \equiv \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-} = -\tanh(pf_n n \sigma_p) \simeq -pf_n n \sigma_p$$

初步分析结果得到p约为7%（理论值为~10%）

锂硼玻璃研制

◆为进一步提高锂玻璃探测器探测效率，与中国计量大学合作，研制国产锂硼玻璃探测器。

- ${}^6\text{Li} + \text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^4\text{He} + 4.78 \text{ MeV}$
- ${}^{10}\text{B} + \text{n} \rightarrow {}^7\text{Li} + {}^4\text{He} + 2.79 \text{ MeV}$ ，6%生成 ${}^7\text{Li}$ 基态，94%生成 ${}^7\text{Li}$ 激发态伴随0.48 MeV γ



中子对锂和硼的反映截面



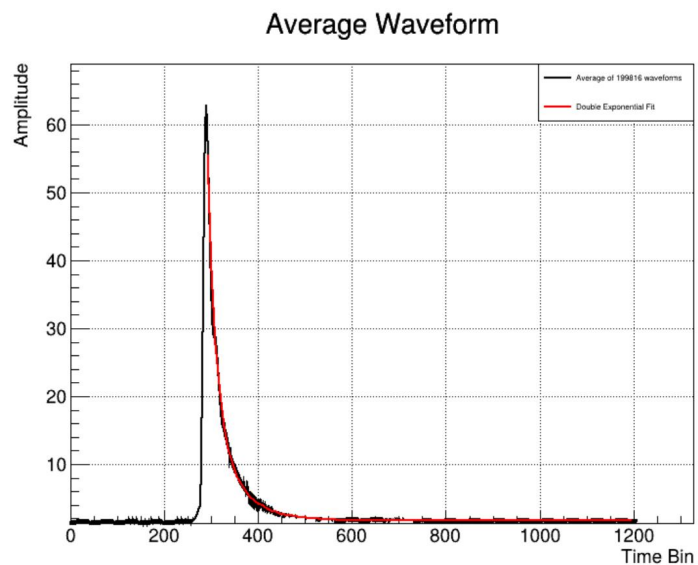
锂、硼玻璃样品

LiB玻璃放射源测试

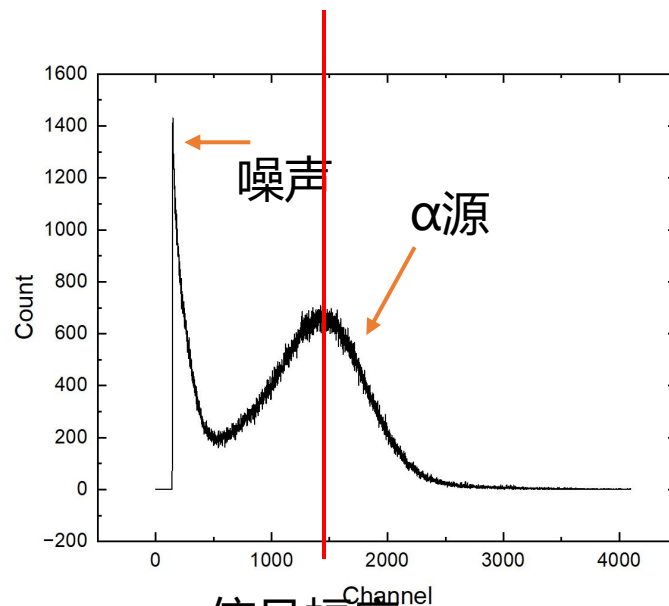
◆ ^{241}Am 放射源对LiB玻璃探测器进行刻度

- 信号波形、快慢成分
- 信号幅度、光产额

$$y = y_0 + A_1 \cdot \exp\left(-\frac{x-x_0}{\tau_1}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\frac{x-x_0}{\tau_2}\right)$$



信号波形



信号幅度



Scintillator



Photomultiplier tube assembly

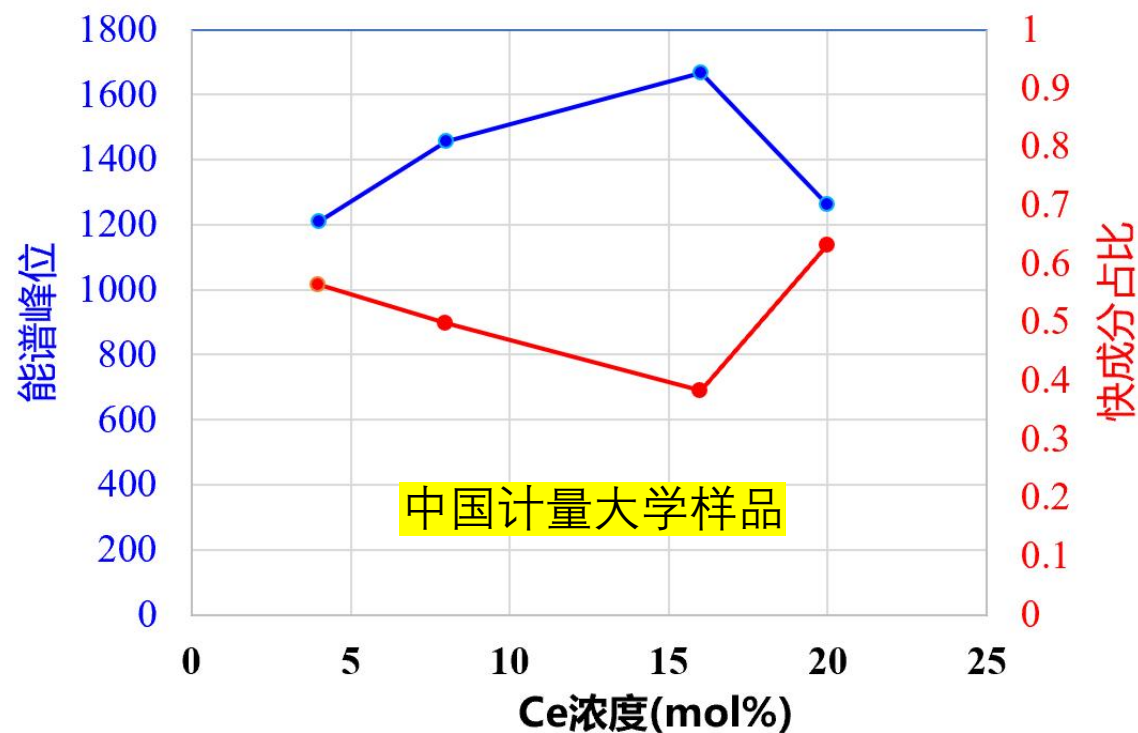
H1949-51

中国计量大学LiB玻璃 名古屋大学LiB玻璃

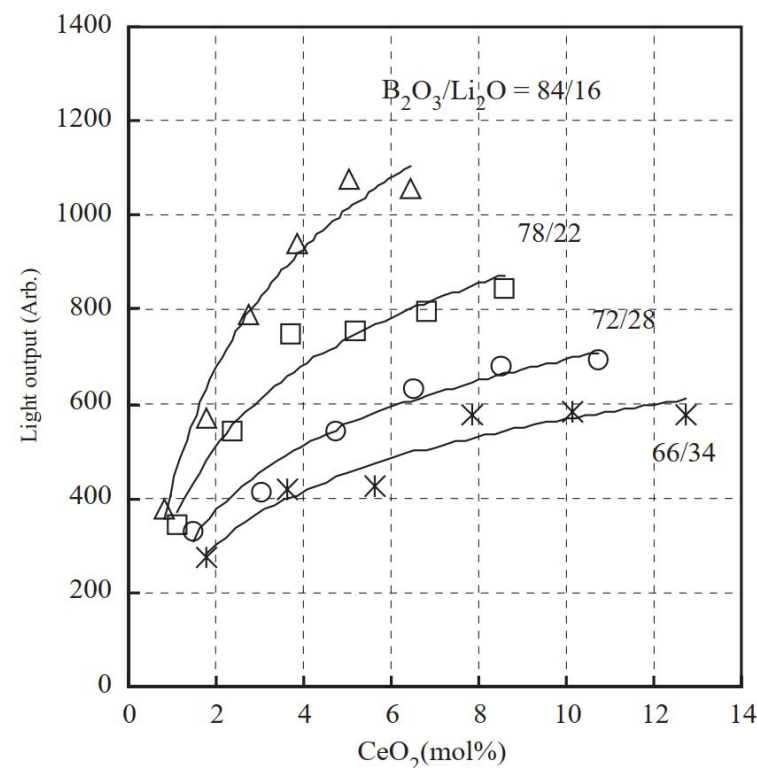


LiB玻璃测试

- ◆随着Ce浓度的提高，光产额增高，快成分减小。
- ◆存在阈值。



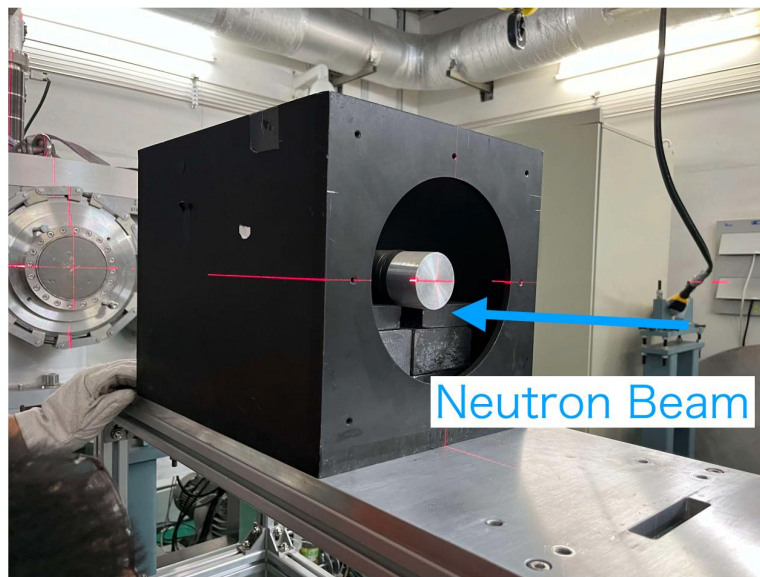
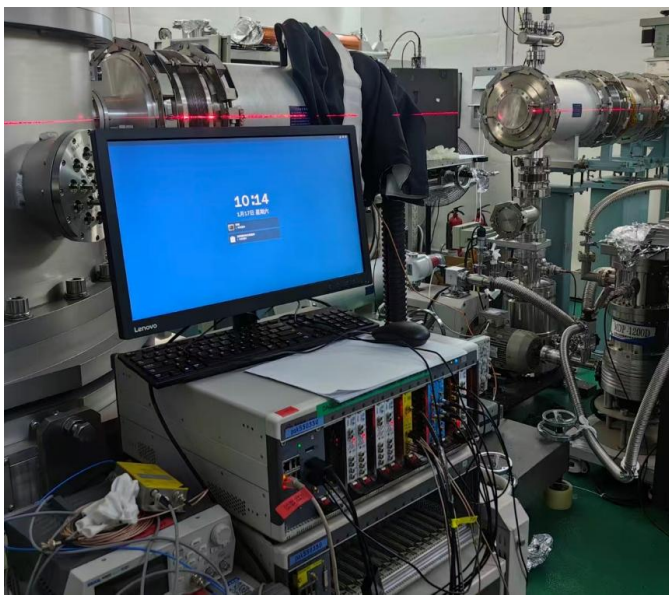
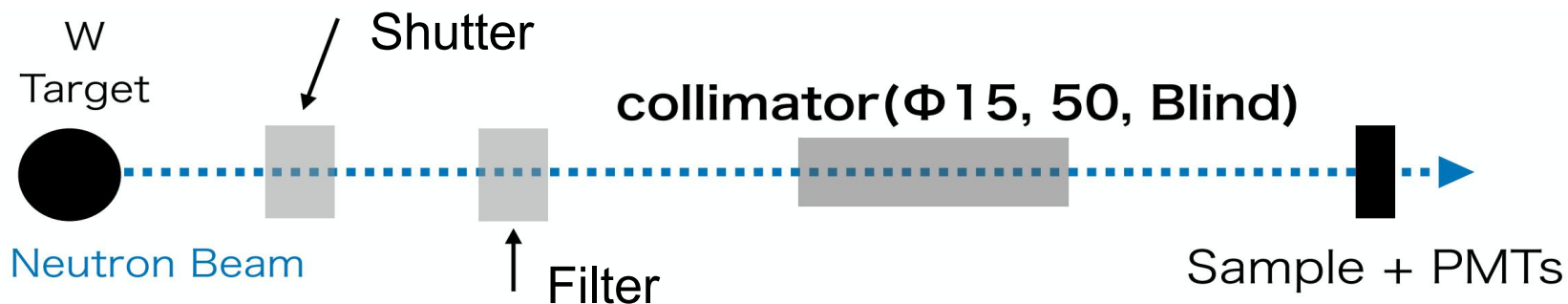
不同Ce浓度的相对光产额及快慢成分占比



Boron Based Oxide Scintillation Glass for Neutron Detection." NIM. A, vol. 537, no. 1-2, 2005, pp. 282-285.

白光束流测试

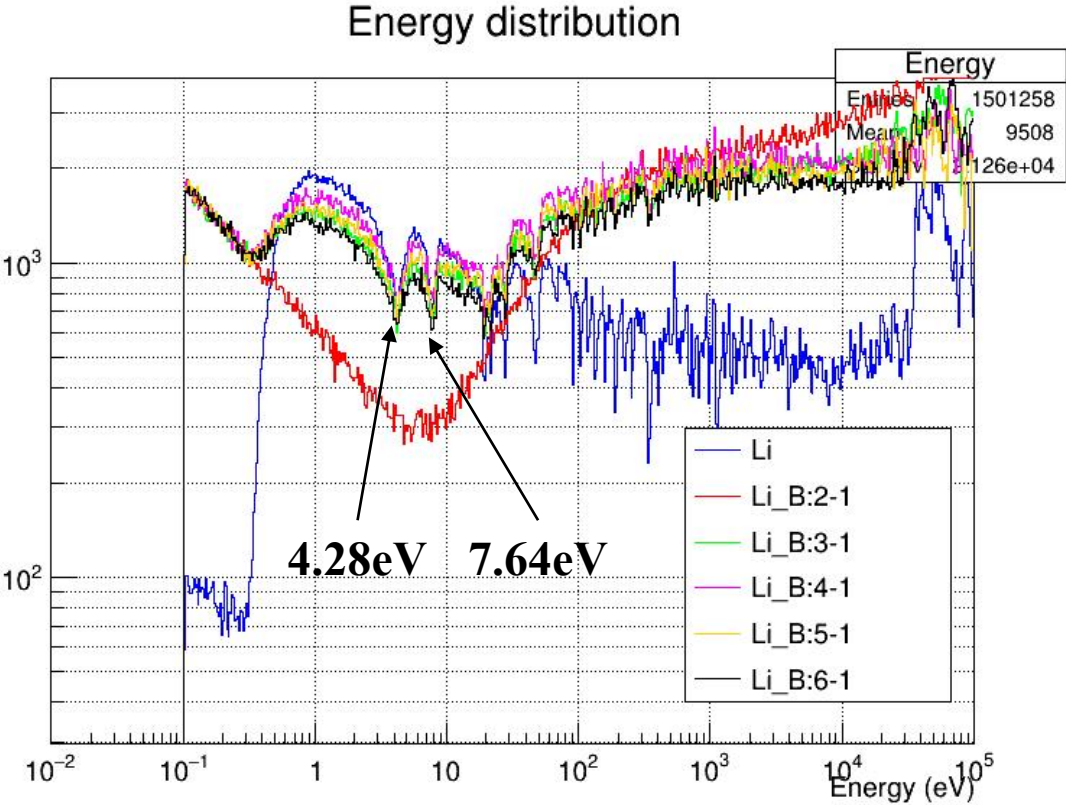
◆在Back-n上分别对中国计量大学、日本名古屋大学的锂硼玻璃样品进行测试



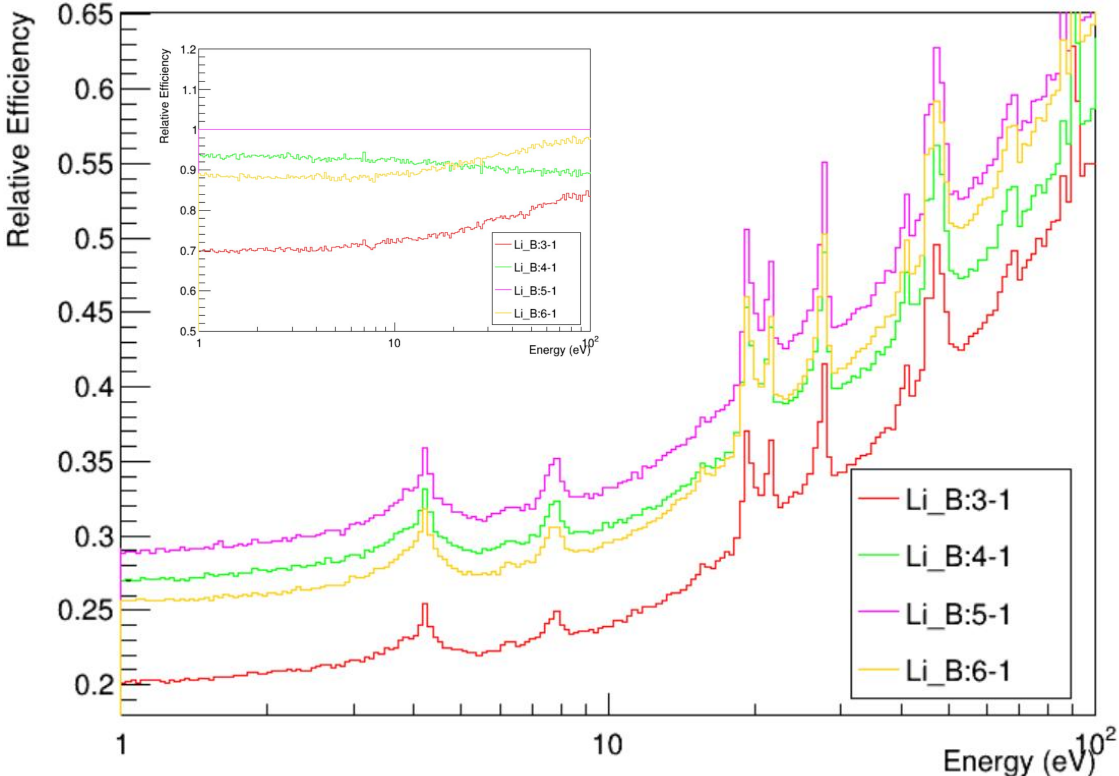
LiB玻璃测试结果-中国计量大学

- ◆不同Ce浓度的LiB玻璃能谱、相对探测效率
- ◆效率跟光产额结果一致

样品	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1
Ce浓度	4mol%	8mol%	12mol%	16mol%	20mol%



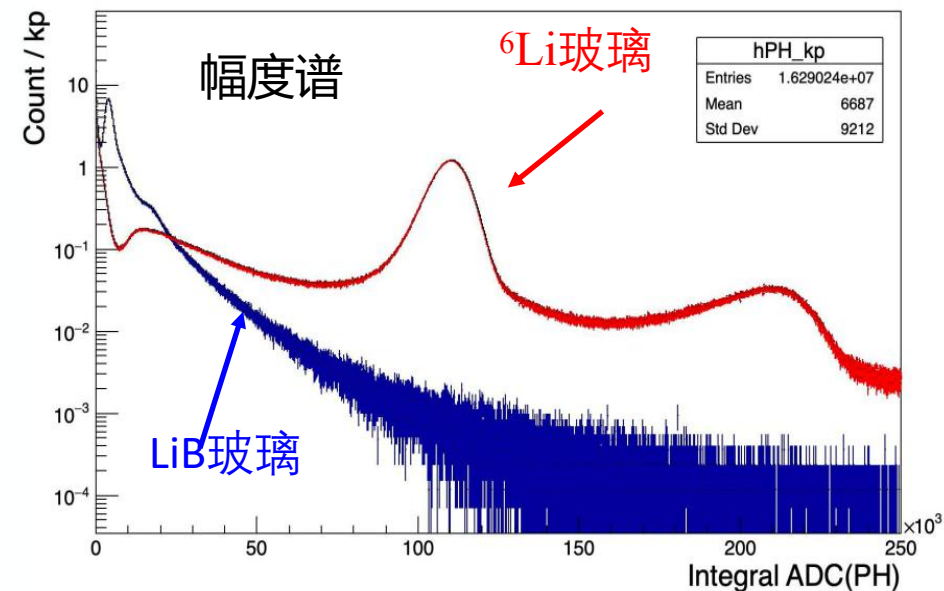
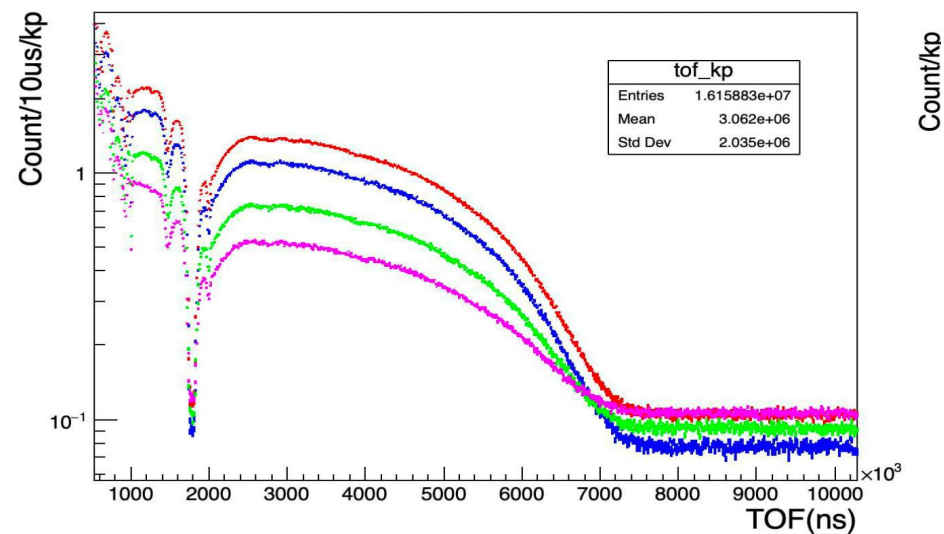
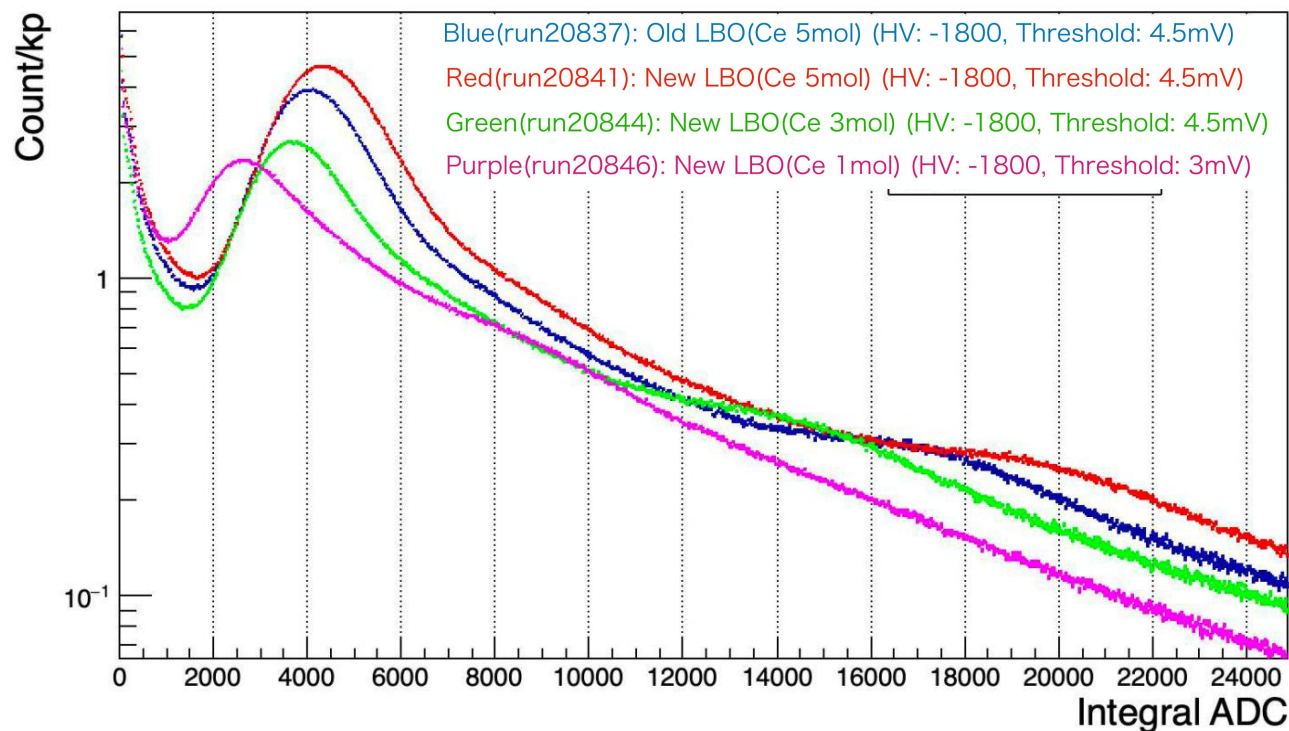
不同型号LiB玻璃计数谱



不同型号LiB玻璃相对探测效率

LiB玻璃测试结果-日本名古屋大学

- ◆现有工艺制备的锂硼玻璃与20年前的锂硼玻璃结果一致。
- ◆锂硼玻璃信号幅度约为锂玻璃的5%。



总结

- ◆研制了一套锂玻璃探测器系统，可用于Back-n能谱的快速测量。使用白光中子对探测器的信号响应、探测效率进行实验刻度。
- ◆锂玻璃探测器在0.75eV中子探测效率约为7%，1小时测量结果在低能区能够给出清晰能谱。
- ◆基于锂玻璃探测器开展了镧靶宇称破缺测量实验，验证了其可行性。
- ◆与中国计量大学开展锂硼玻璃探测器研究，探索不同掺杂浓度对探测器性能的影响。

谢谢!