



中国散裂中子源
Chinese Spallation Neutron Source

LGAD探测器在中子核数据零度角探测的应用

报告人：郭宇航

参与人：郭宇航、李梦朝、牛梦臣、
梁志均、樊瑞睿

2023/09/21

目 录

CONTENT

1 研究背景

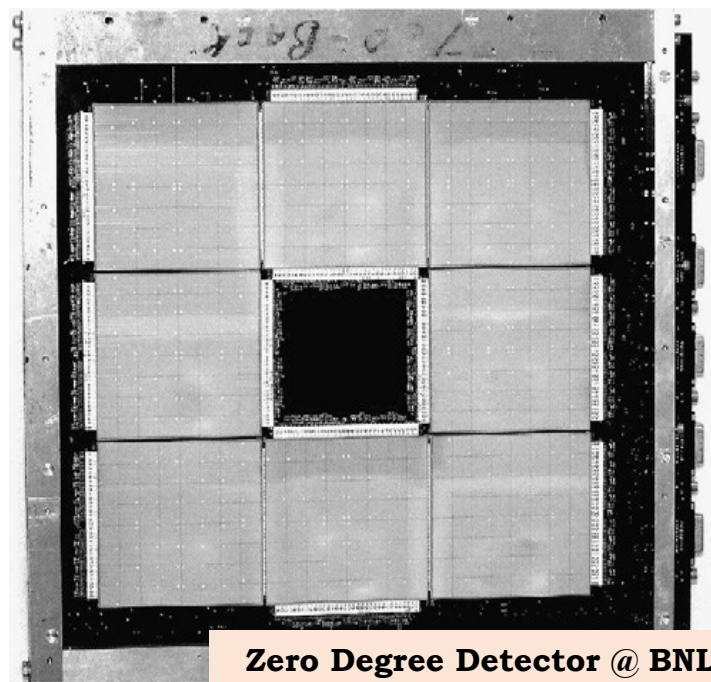
2 实验原理及装置

3 数据分析与讨论

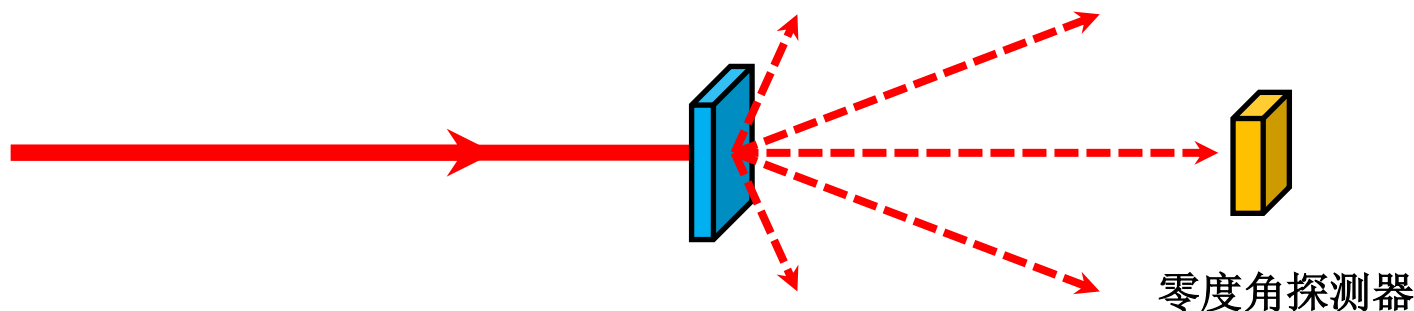
4 结论与总结

1.1 核数据测量与零度角探测器

- 核数据测量中，中子与靶的裂变产物的角分布是重要的测量内容之一。
- 然而由于零度角探测器的缺位，束流零度方向的核数据不能直接测量。



Zero Degree Detector @ BNL
NIM A 579 (2007) 443-446



- 约束零度角核数据测量的原因：
 1. 受束流辐照效应影响严重，很难稳定运行
 2. 束流粒子成为主要本底，影响测量

1.2 各种探测器对比



探测器类型		问题
气体探测器		时间性能差，影响飞行时间测量；容易打火，很难稳定测量；
闪烁体探测器		对 γ 本底敏感，需要n- γ 甄别
硅探测器	Si	抗辐照能力差
	SiC	灵敏面积小；厚度低，对MIP粒子探测能力差
	Diamond	贵！

- 因此亟待寻找一种能够用于零度角方向核数据测量的探测器。
- 该探测器要满足：
 1. 耐辐照
 2. 对中子和 γ 粒子不敏感，本底低。

1.3 LGAD探测器

- 低增益雪崩探测器 (Low Gain Avalanche Dynode) 是一种近年来出现的前沿探测技术。
- 用于升级后的LHC上的Atlas谱仪端盖探测器。
- 十分耐辐照，时间分辨率高，对中子和 γ 不敏感。
- 国内已量产，适用于核数据测量零度角探测器。

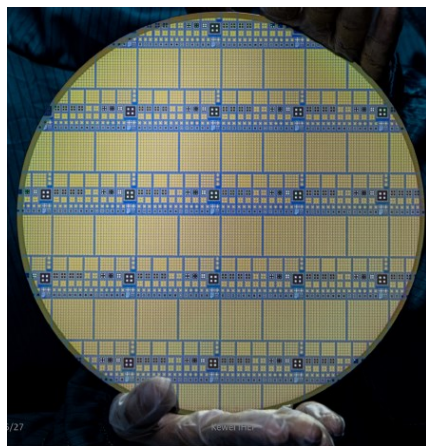
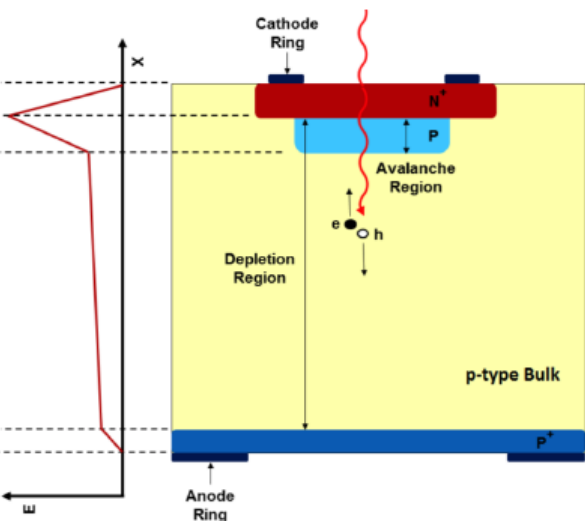
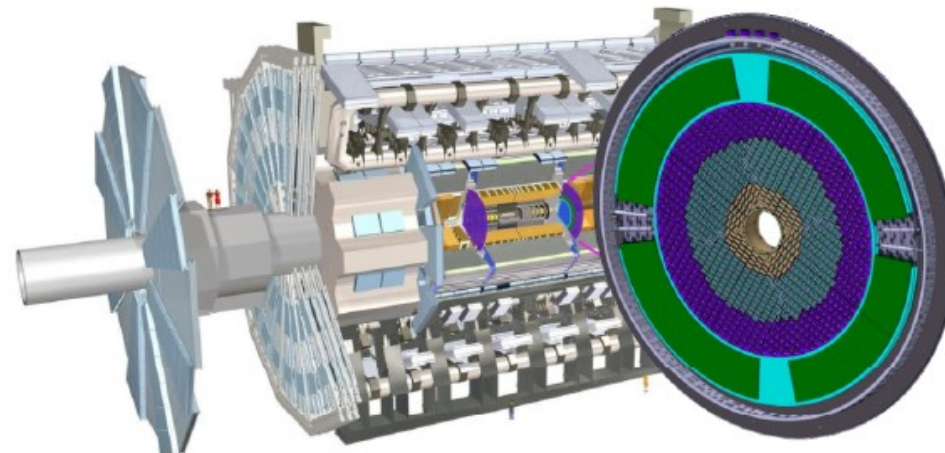


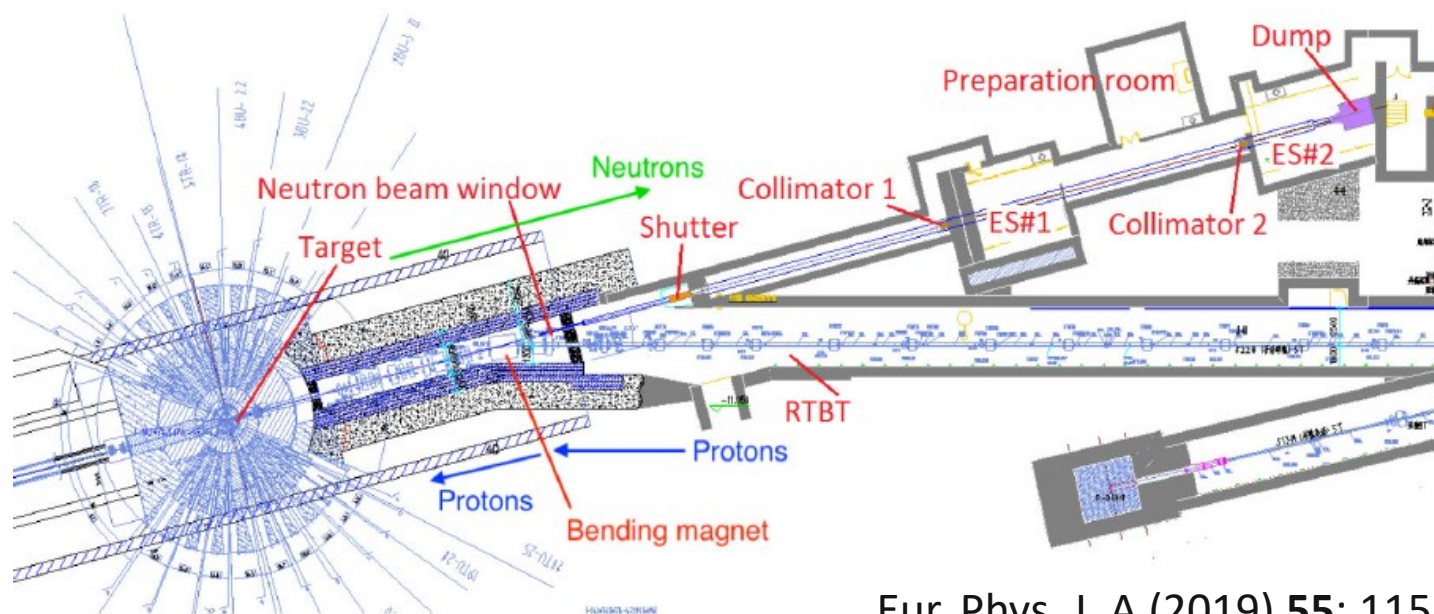
表 LGAD探测器的主要性能参数

性能	耗尽层厚度	信号上升时间	信号宽度	时间分辨率	探测器尺寸
参数	50 μm	~700ps	2~3ns	30 ps	~1 \times 1 mm^2

1.4 测试实验 @ CSNS-Back_n



- 在CSNS-Back_n开展实验，证明LGAD用于零度角探测器的可行性。
- 本报告介绍该实验的装置、实验结果与结论。



Eur. Phys. J. A (2019) 55: 115

目 录

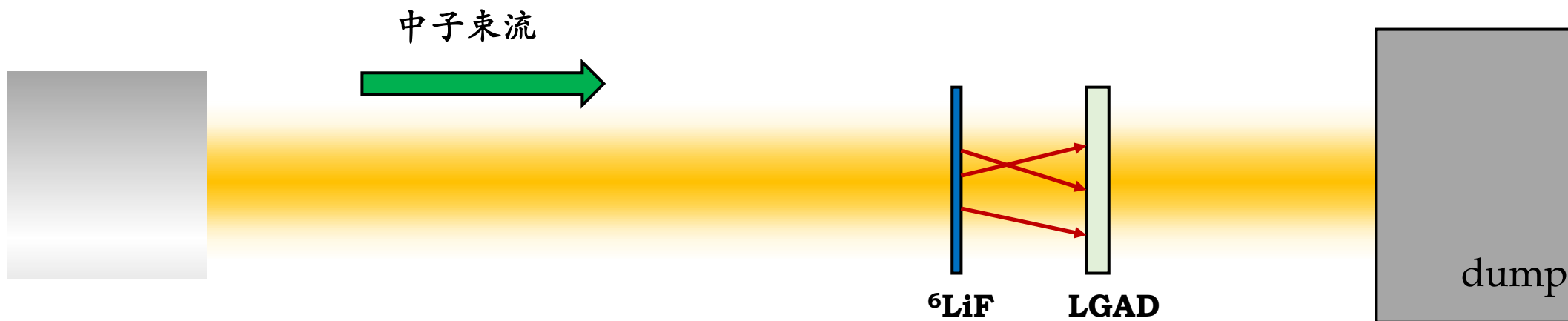
CONTENT

1 研究背景

2 实验原理及装置

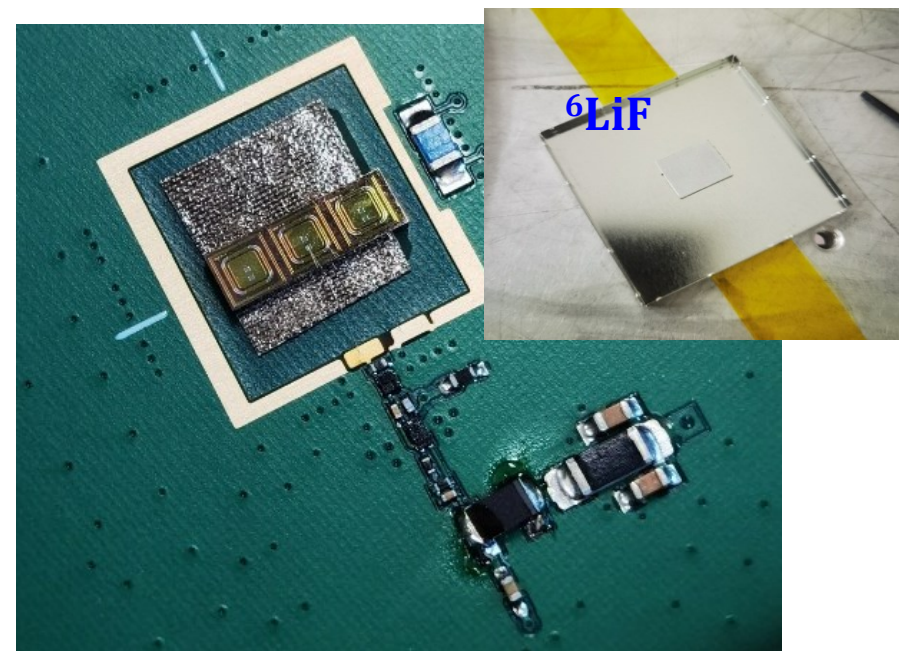
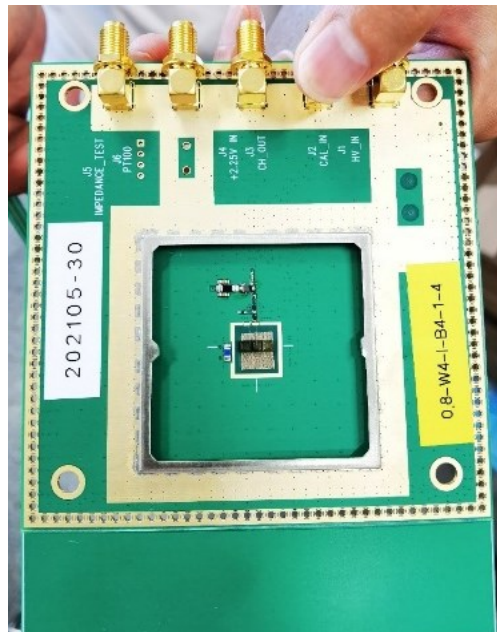
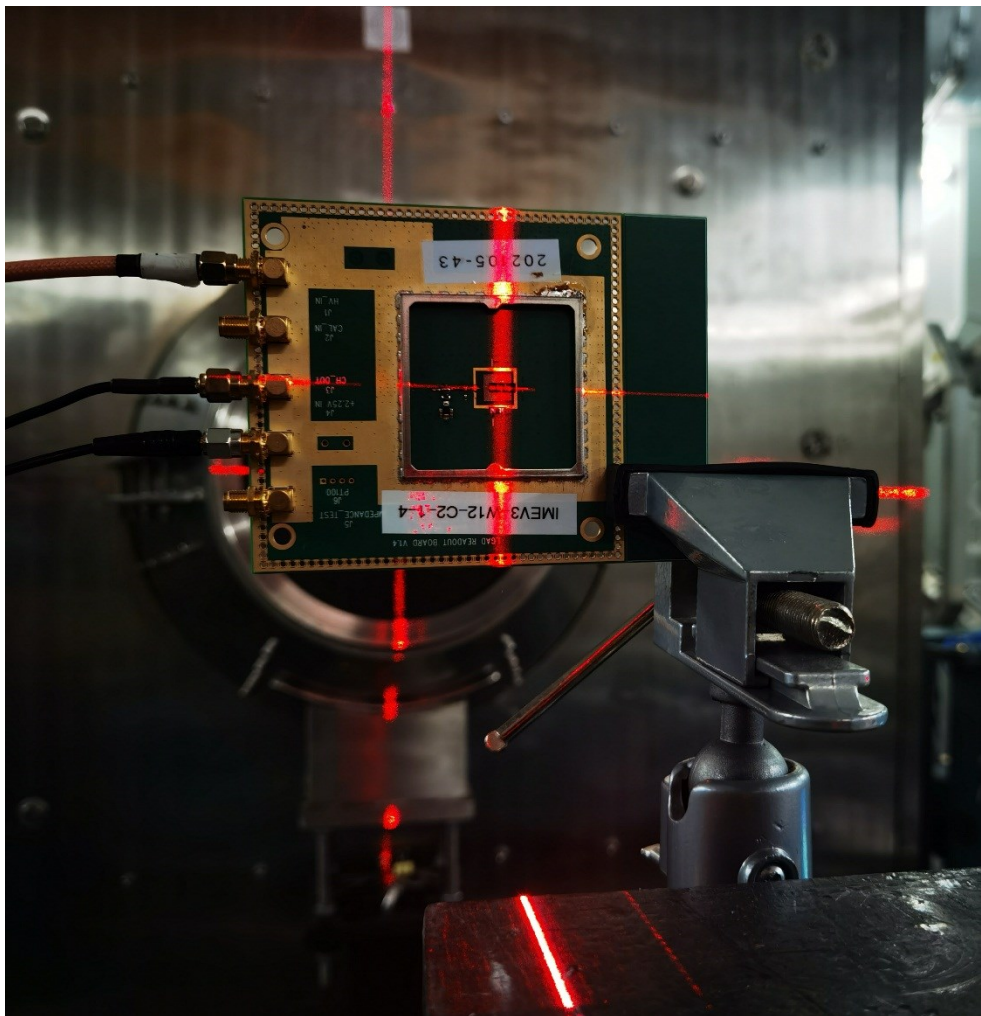
3 数据分析与讨论

4 结论与总结



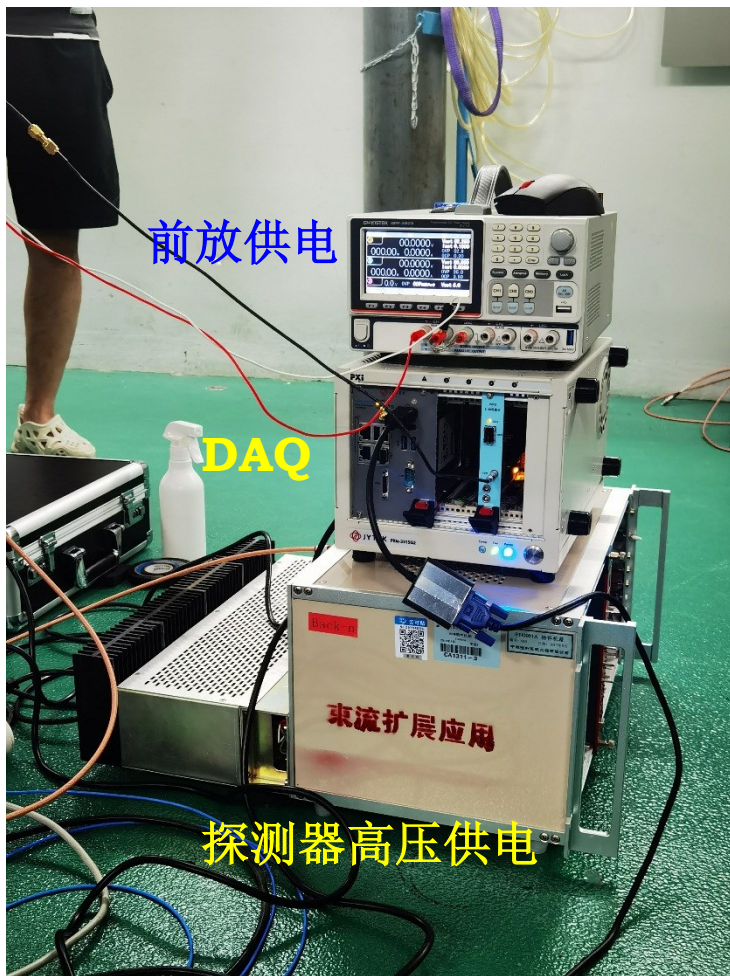
- 拟采用CSNS back-n的白光中子束打 ${}^6\text{Li}$ 靶，产生次级 α 和T。
- 利用LGAD探测器测量产生的次级粒子，通过飞行时间测量中子能量。
- 根据白光中子能谱数据，测量 ${}^6\text{Li}(n, T)\alpha$ 反应截面谱。

2.2 探测器系统



- 实验使用的**LGAD**探测器附在**UTSC** 探测器板上。
- 只用了其中一个探测器单元。
- 探测器尺寸**1.3mm × 1.3mm** 。

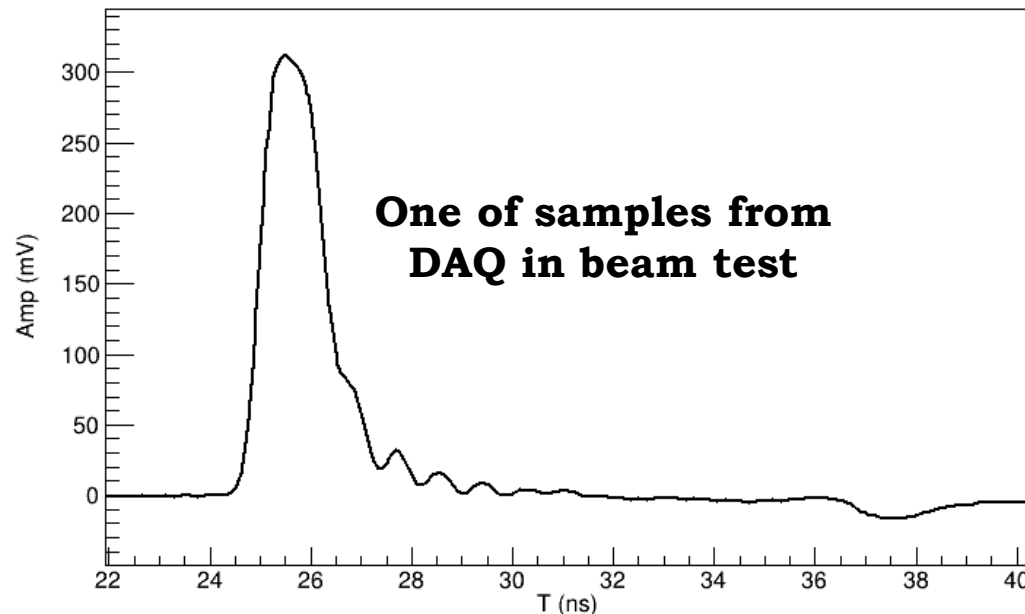
感谢中科采象有限公司的鼎力支持!



- 探测器的信号由FROS(Fast Read Out System)采集。
- LGAD探测器信号上升沿约700 ps, 宽度仅2~3 ns。
- 波形采集需要高采样率电子学。

FROS参数

- PCIe-X1022板卡
- PXIe 协议
- 6.4Gsp/s 采样率
- 2G 带宽
- 在线数据存储
- 无死时间
- 最大支持16路数据读出



目 录

CONTENT

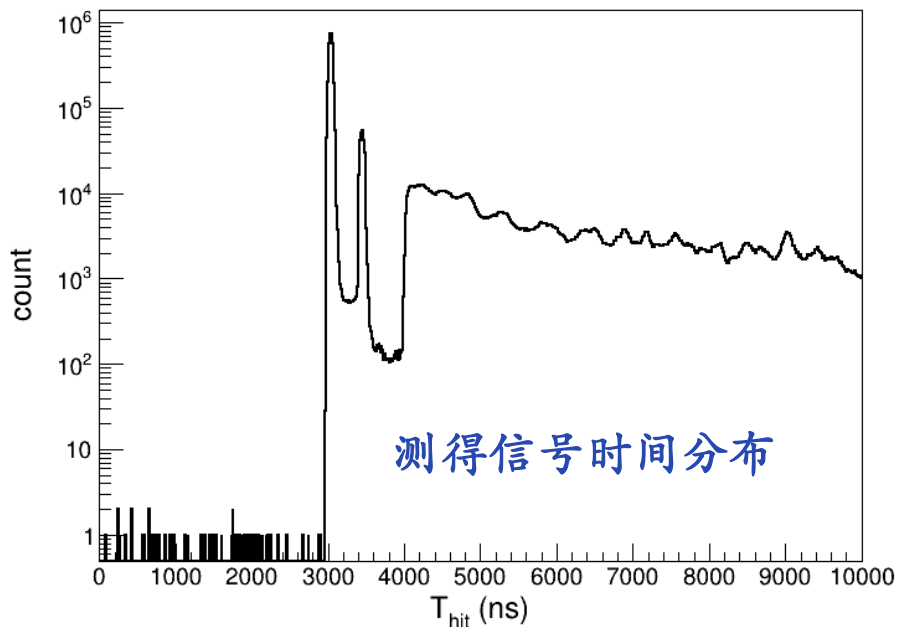
1 研究背景

2 实验原理及装置

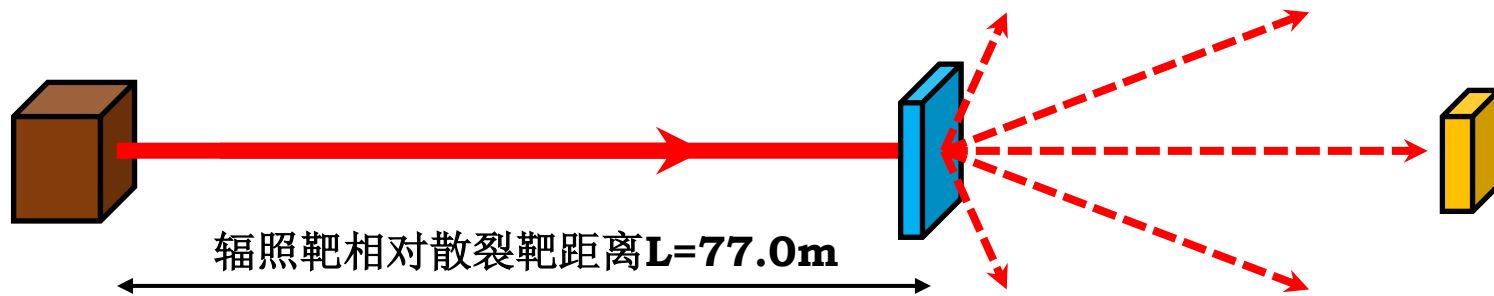
3 数据分析与讨论

4 结论与总结

3.1 中子飞行时间计算



- 通过 γ -flash可以反演得到粒子打靶时间 T_0 .
- 进而得到每个次级粒子的hit时间 T_{hit} .
- 由于辐照靶距离探测器非常近，近似认为中子到达辐照靶时间 $T_n \approx T_{hit}$.
- 进而可计算中子的飞行时间，和能量。



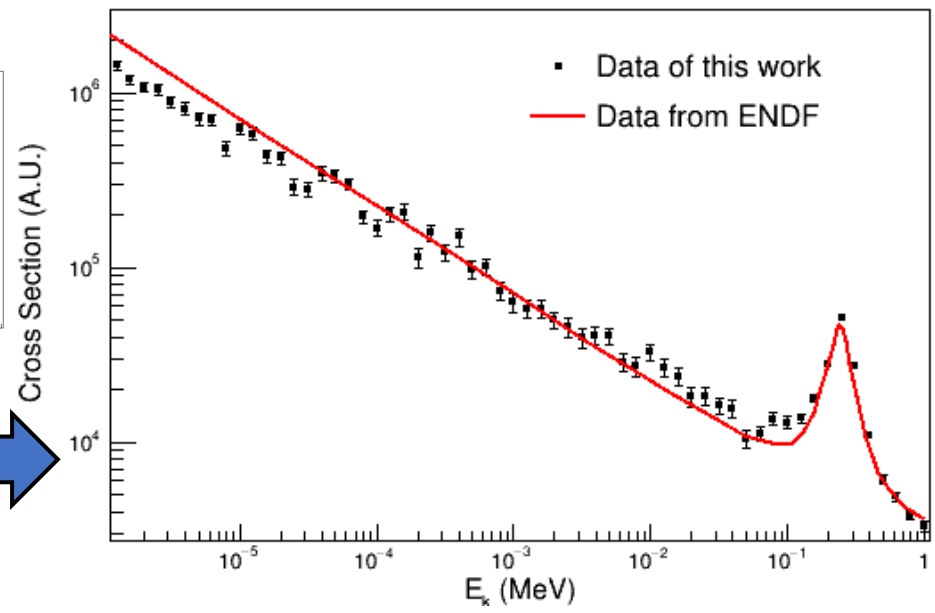
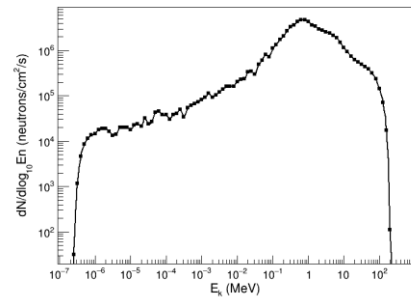
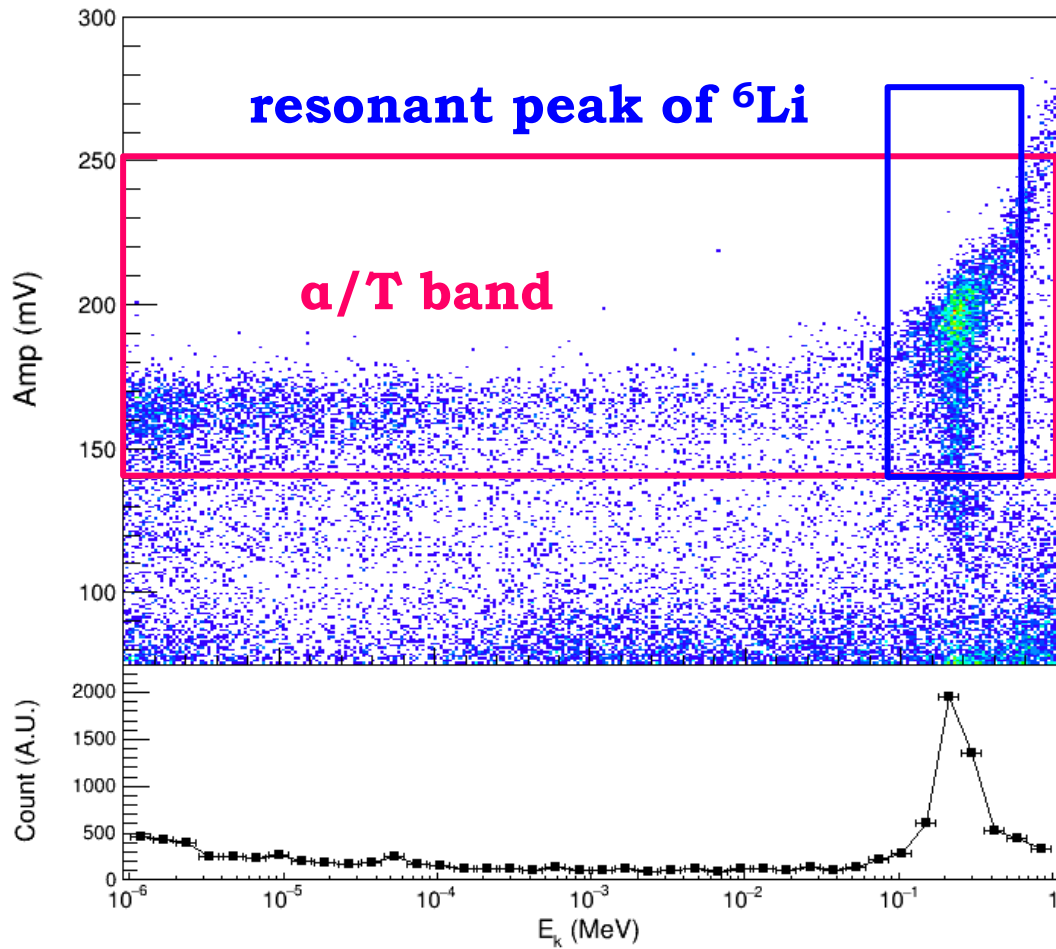
$$TOF_n = T_{hit} - T_0$$

$$E_n = m_{n,0} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$$

$$\beta = \frac{L}{TOF_n \cdot c}$$

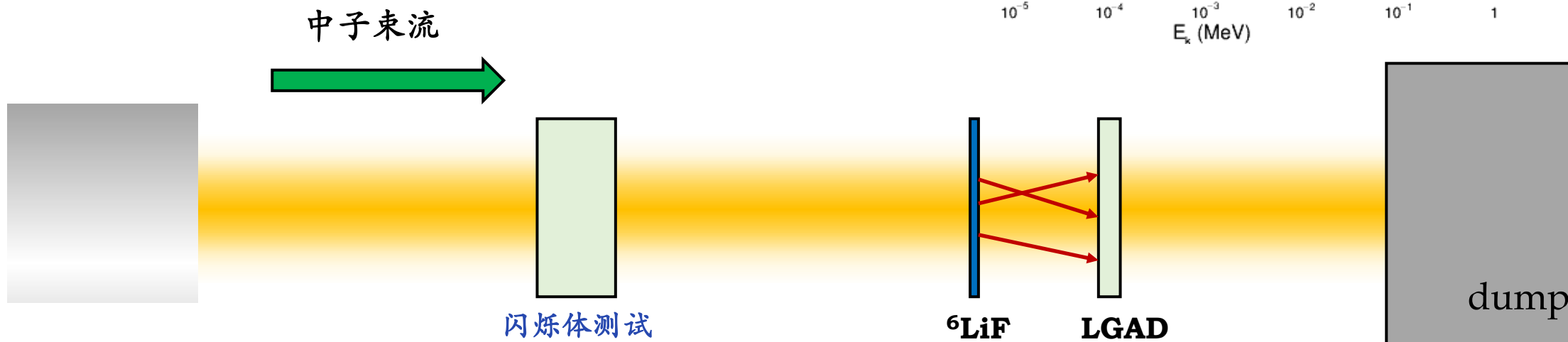
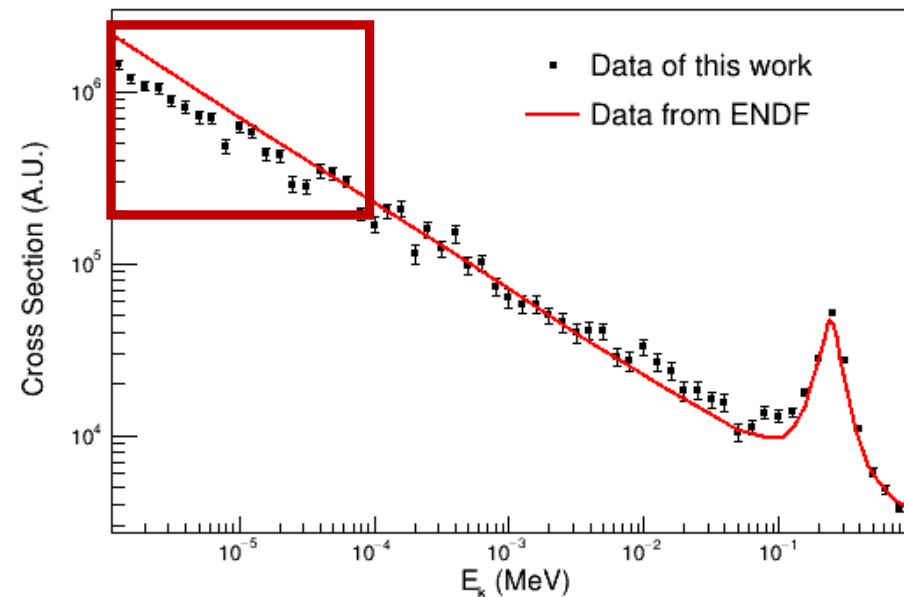
3.2 中子能量与次级粒子能量沉积关系

- 可以看到 ${}^6\text{Li}(n,T)\alpha$ 的次级粒子事件带。
- 中子能量分布依据白光中子能谱修正，即得到 ${}^6\text{Li}(n,T)\alpha$ 截面随中子能量分布。
- 得到的数据与ENDF数据基本吻合。

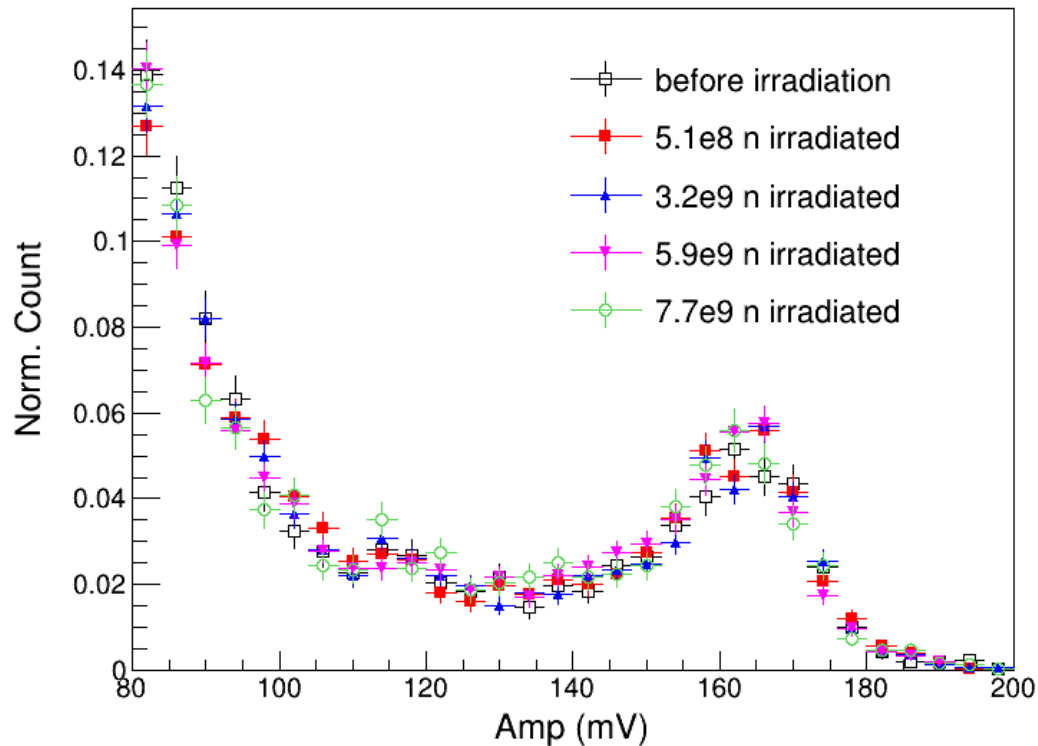


3.3.1 讨论-低能段偏差

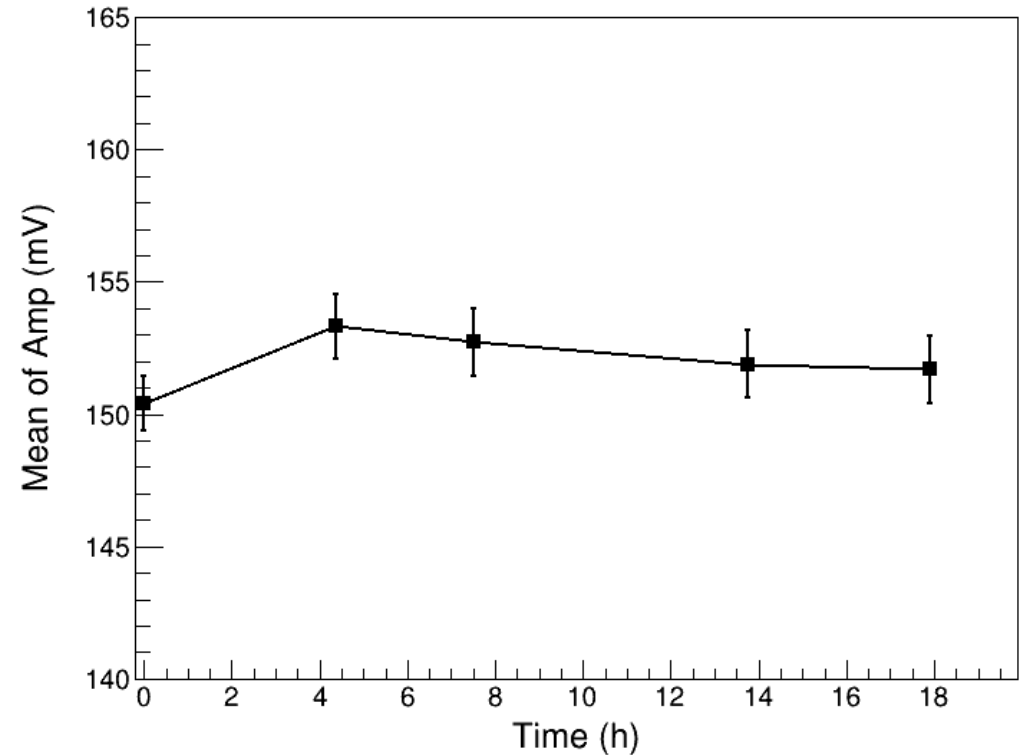
- 在<100 eV能段出现偏差。
- 本次实验不是独立进行，束流受到前面的闪烁体测试的装置影响。
- 该能段的中子被前端装置吸收。



3.3.2 讨论-抗辐照性能



图a. 实验不同阶段探测器采集信号分布



图b. 实验不同阶段探测器信号均值变化

- 等效中子通量总计 1.1×10^{10} ，探测器性能并未发生明显变化。
- LGAD的抗辐照性能满足零度角探测器的需求。

目 录

CONTENT

1 研究背景

2 实验原理及装置

3 数据分析与讨论

4 结论与总结

- 通过实验，验证了LGAD探测器可用于核数据测量的零度角探测器。
 - 能承受等效中子通量 1.1×10^{10} 的辐照，抗辐照性能满足需求。
 - 能充分响应MeV能量级的轻裂变碎片，并通过飞行时间法测量中子能量。
 - 经 ${}^6\text{Li}(n, T)\alpha$ 截面测量实验验证，可用于零度角的截面数据测量。
- LGAD探测器，以其造价便宜，耐辐照，性能稳定，时间分辨性能好的特点，在核数据测量的零度角探测方面具有优势。
- 相关paper已投出，等待评审。

致谢



承蒙厚爱
感谢倾听
Thanks!