

反角白光中子源 ΔE - ΔE - E 望远镜

Back-n 带电粒子小组

2020.8.11



北京大学

PEKING UNIVERSITY



目录

- 设计目标
- 硅阵列探测器
- ΔE - E 望远镜: Si+CsI(Tl)、MWPC+Si
- ΔE - ΔE - E 望远镜
- 总结

设计目标

- 对轻带电粒子的 ΔE - E 鉴别、幅度-飞行时间鉴别等。
- 与国际上同类探测器对比性能全面，功能强大

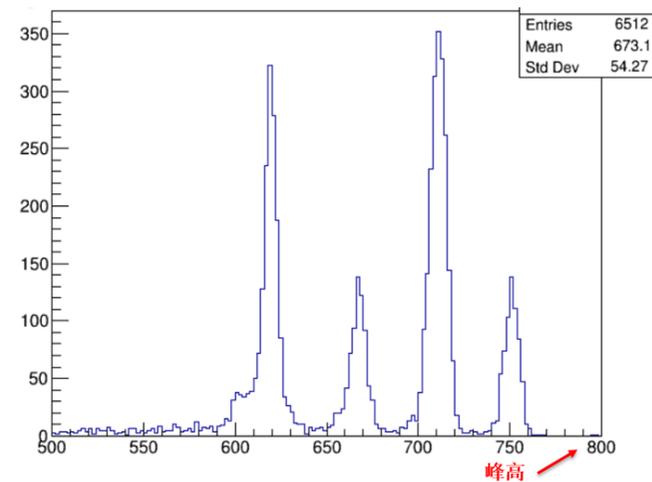
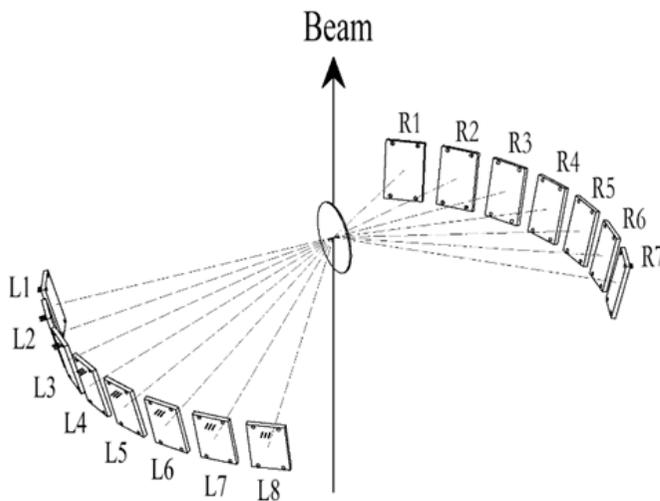
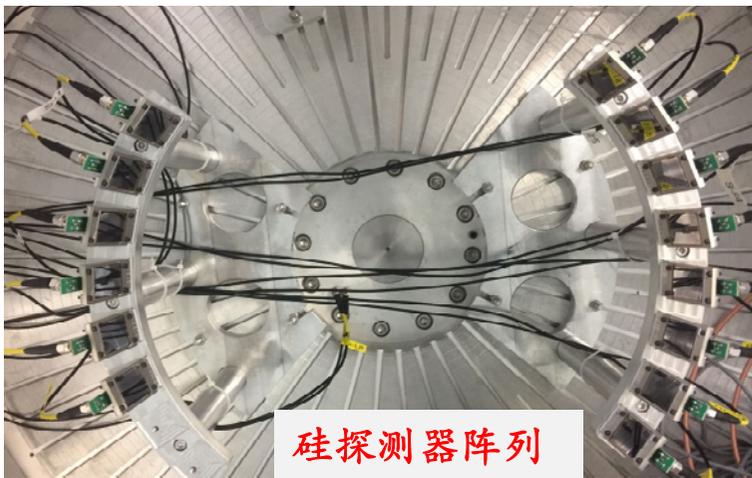
	LANSCE	MEDLEY	Crocker	CYCLONE	LPDA
探测器构架	气体室+硅+CsI	硅+硅+CsI	硅+NaI	塑闪+CsI	气体室+硅+CsI
探测器数量	4	8	3	6	16
带电粒子测量能区	4MeV-50MeV	8-100MeV	<80MeV	1.5MeV-80MeV	0.5-100MeV
中子测量能区	0.2-50MeV	70MeV	10-60MeV	25-65MeV	1eV-100MeV
时间分辨	3ns (300keV@10MeV)	2-4ns	200keV	0.8ns	<5ns

1. 薄窗气体探测器安装在真空靶室内；
2. 有限体积安装探测器、电缆、气路；
3. 48路信号，目前Back-n最复杂的探测器系统

硅阵列探测器 $\rightarrow\Delta E$ - E 望远镜 $\rightarrow\Delta E$ - ΔE - E 望远镜

硅阵列探测器

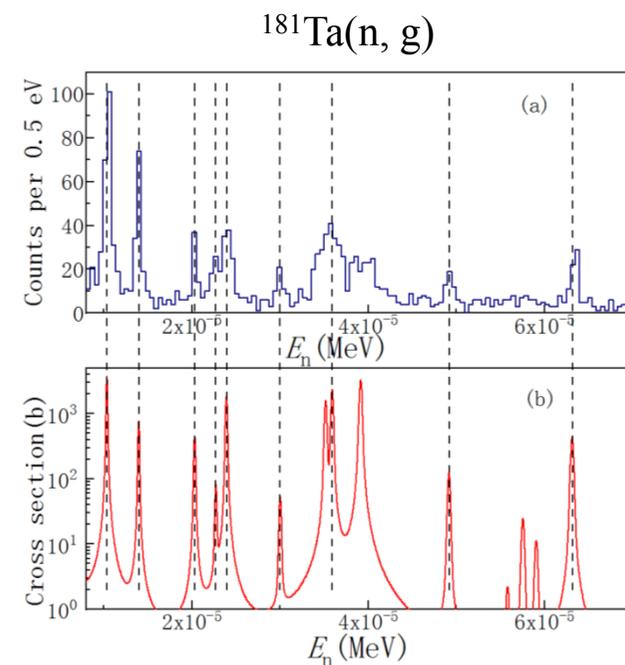
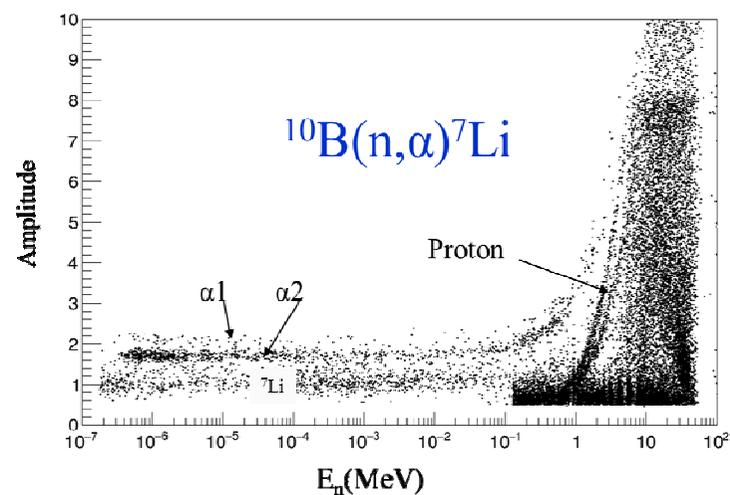
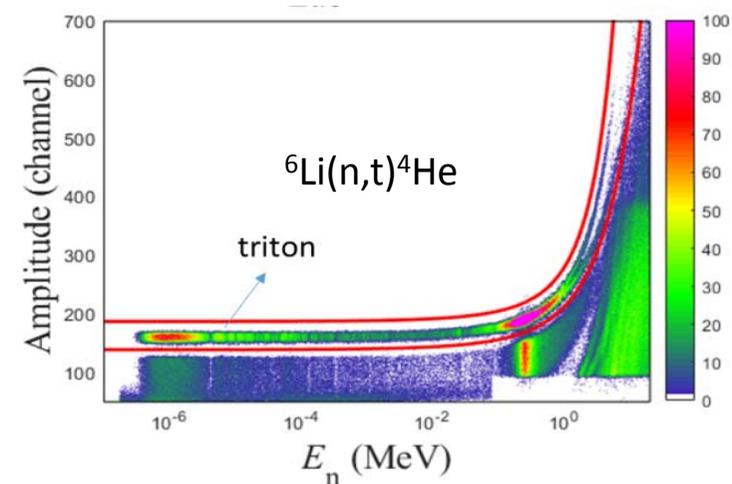
- 15路有效探测面积 $20\text{ mm} * 25\text{ mm}$ 硅探测器组成硅阵列探测器，应用于中子诱发的带电粒子反应；
- 每个探测器距离靶心 20 cm ，覆盖约 $1.25 \times 10^{-2}\text{ Sr}$ 。
- 应用于带电粒子反应实验中进行 $(18-160)^\circ$ 出射的带电粒子产物的探测及鉴别；



MSI-8 前放，使用四组分 α 源进行能量刻度，对于 5.499 MeV α 粒子的能量分辨好于1%

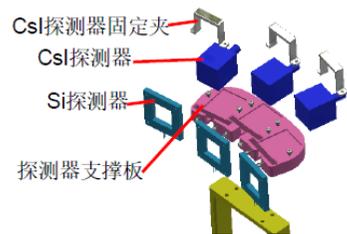
硅阵列探测器

- 利用硅阵列探测器于2018年开展 ${}^6\text{Li}(n, t){}^4\text{He}$ 、 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 反应微分截面测量实验研究。利用幅度-飞行时间二维谱得到粒子鉴别。
- 实验结果已经发表于CPC等期刊。



ΔE - E 望远镜—Si+CsI(Tl)

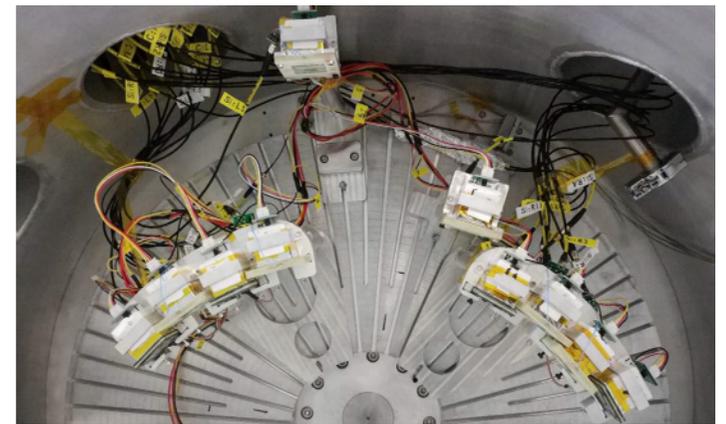
- 10套Si+CsI(Tl) ΔE - E 带电粒子望远镜，使用SiPM作为CsI(Tl)的信号读出。
- 300 μm 厚硅探测器 + 3 cm厚 CsI探测器
- 通过在束实验印证质子的鉴别上限达到100 MeV，应用到白光中子源的np散射、nd散射截面测量在束实验中。



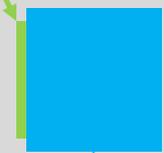
ΔE - E 望远镜阵列
平视图



ΔE - E 望远镜阵列
俯视图



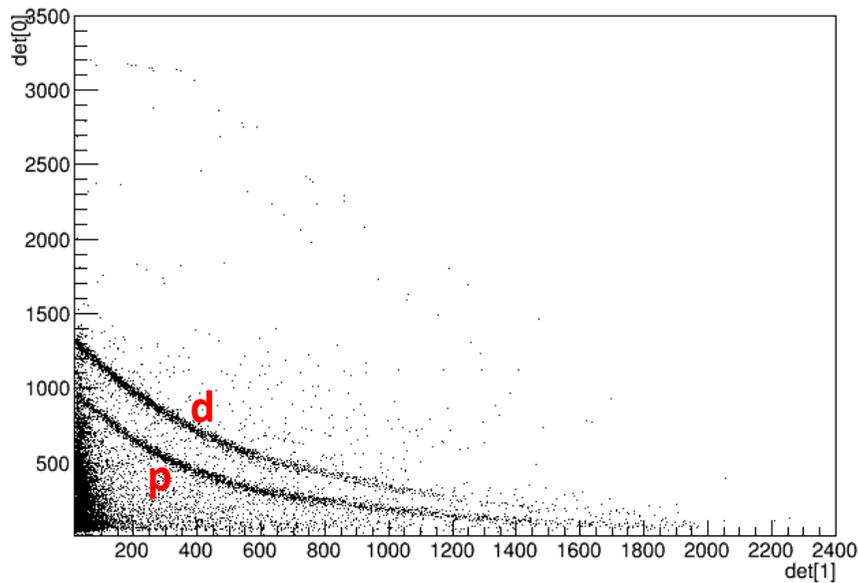
300 μm 硅探测器



3cm CsI(Ta) 探测器
CsI(Ta)使用SiPM读出

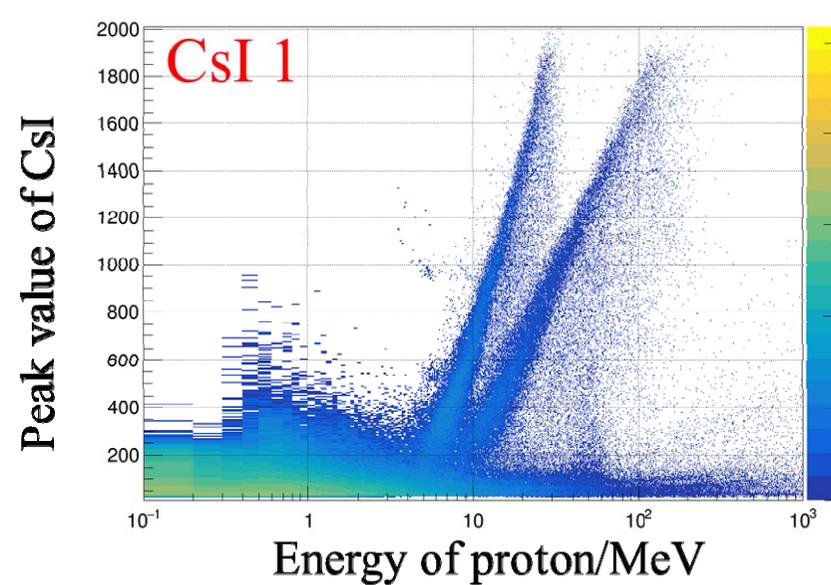
单套 ΔE - E 望远镜组成

ΔE - E 望远镜—Si+CsI(Tl)



Si+CsI得到的 ΔE - E 谱

横轴为CsI中信号幅度
纵轴为Si探测器中信号幅度

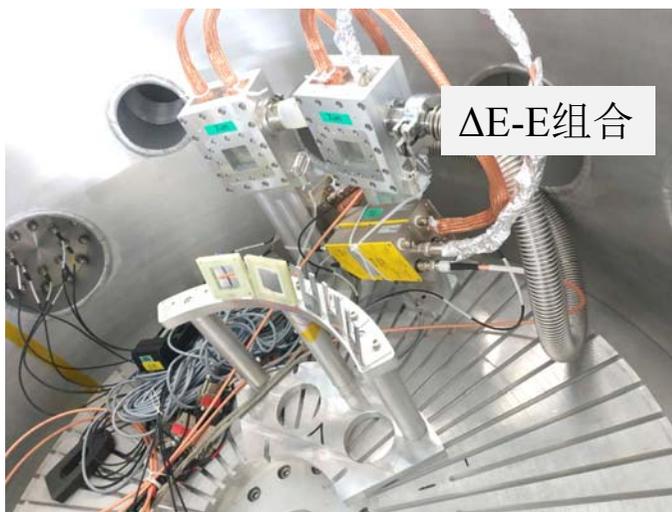


100 MeV 质子鉴别

利用Si+CsI得到的 ΔE - E 谱可以鉴别出质子与氘粒子
由于Si探测器的电子学动态范围问题，未能对 α 粒子进行鉴别

ΔE - E 望远镜—MWPC+Si

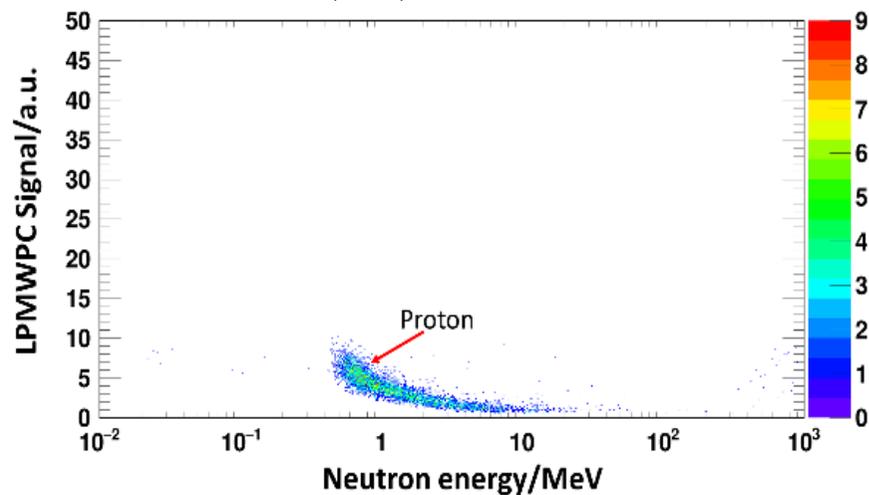
- 低能带电粒子的 ΔE - E 鉴别在核探测及鉴别中困难点之一，依赖于多丝正比室 + 硅探测器的组合。
- 测试不同的工作气压下，MPWC探测器打火点(LPDA靶室及MWPC的真空度、MPWC高压值)。
- 通过降低入射窗厚度(2 μm Mylar膜、0.2atm Ar+ CO₂)等手段，2019年9月的在束实验表明我们的望远镜实现了**0.5 MeV质子**的 ΔE - E 鉴别，以及¹⁰B(n, α)反应中生成的1.7 MeV α 粒子。



2019年9月测试实验设置图

两套低气压多丝正比室 +
300 μm 厚硅探测器的 ΔE - E 组合

测量¹H(n, n)反应产生的质子

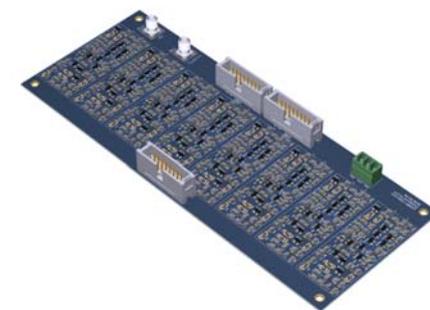
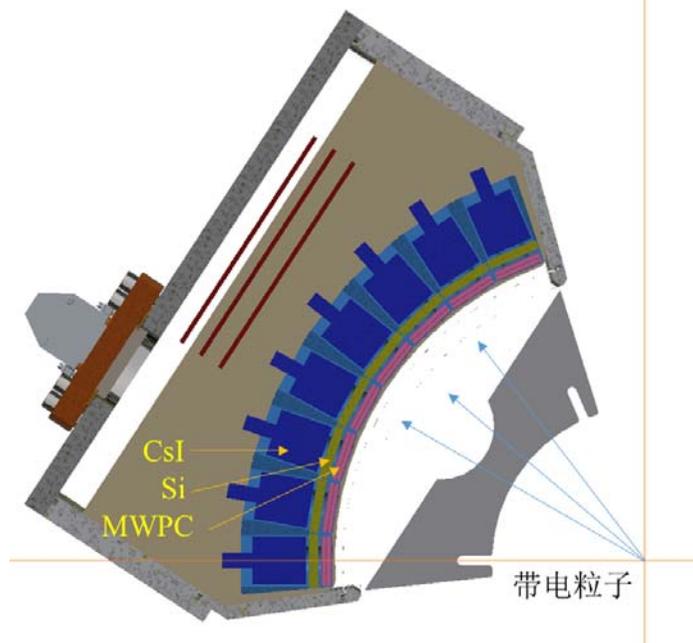
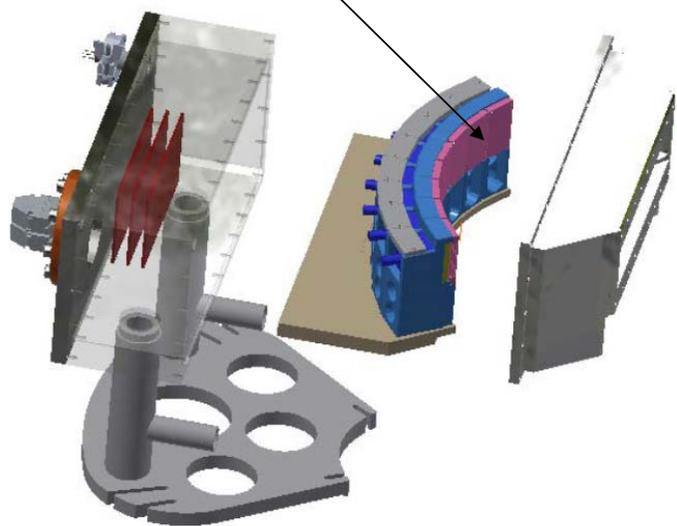


0.5 MeV 质子鉴别

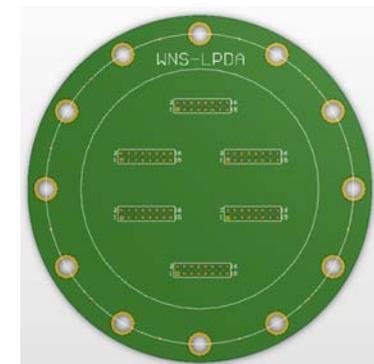
ΔE - ΔE - E 望远镜

- 在 ΔE - E 望远镜基础上，根据实验测试结果设计 ΔE - ΔE - E 带电粒子望远镜系统。
- 由低气压多丝正比室(LPMWPC)、Si、CsI(Ta)探测器组成每套 ΔE - ΔE - E 望远镜；8套 ΔE - ΔE - E 望远镜为一组，共2组。

气体探测器作为 ΔE 可以降低粒子鉴别阈值

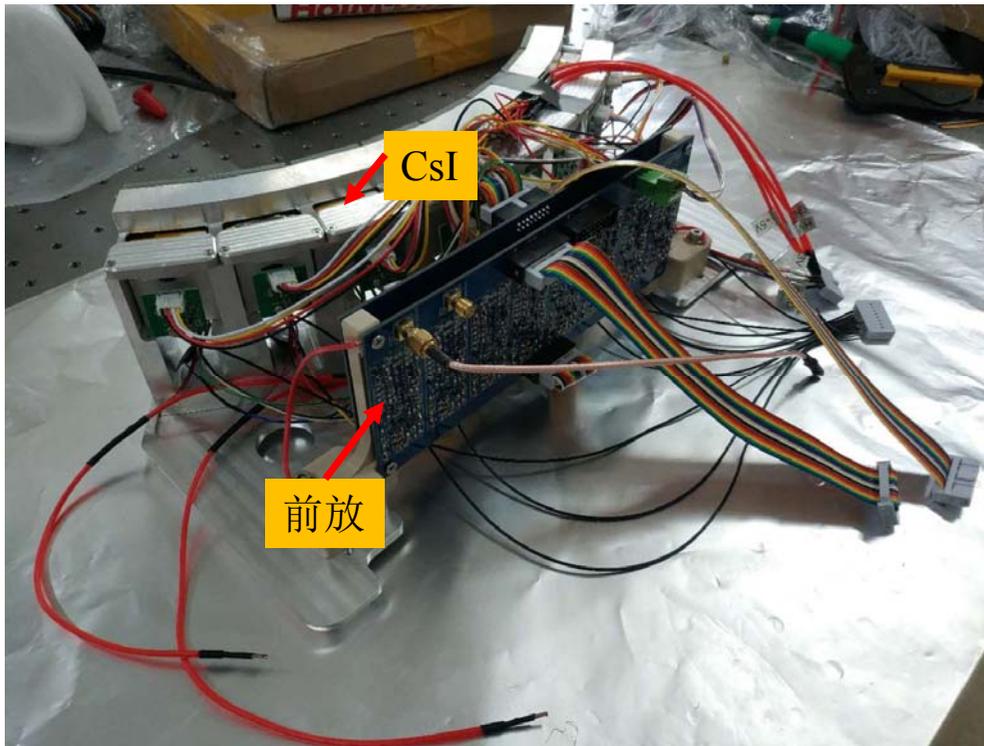


探测器前放方案(易晗设计制作)



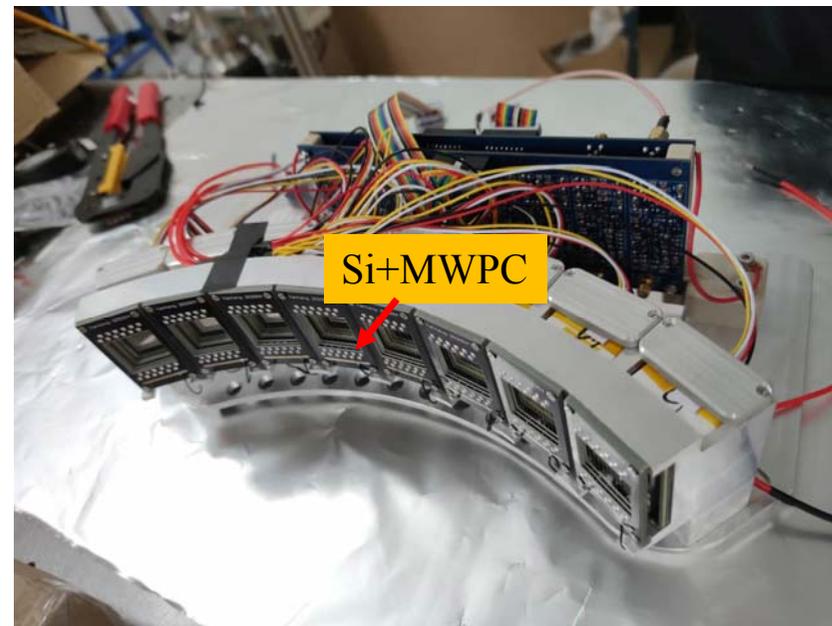
每个模块的信号读出法兰

ΔE - ΔE - E 望远镜



实际的探测器组装图

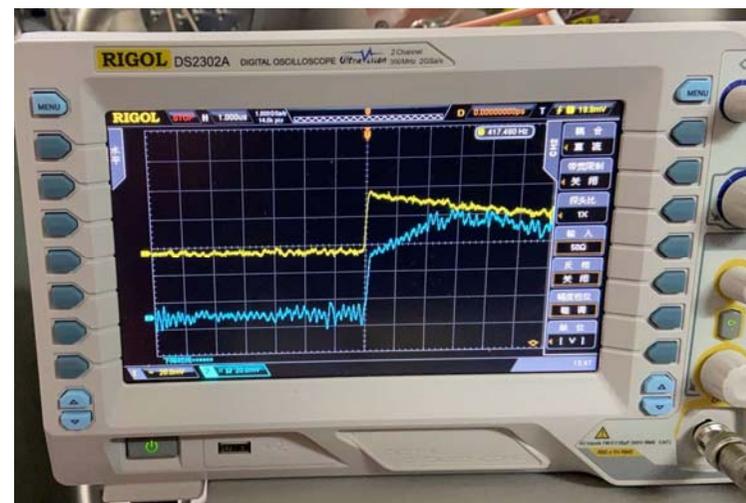
探测器及前放均放置于模块内，
探测器信号由2*8排线头输出



ΔE - ΔE - E 望远镜测试实验

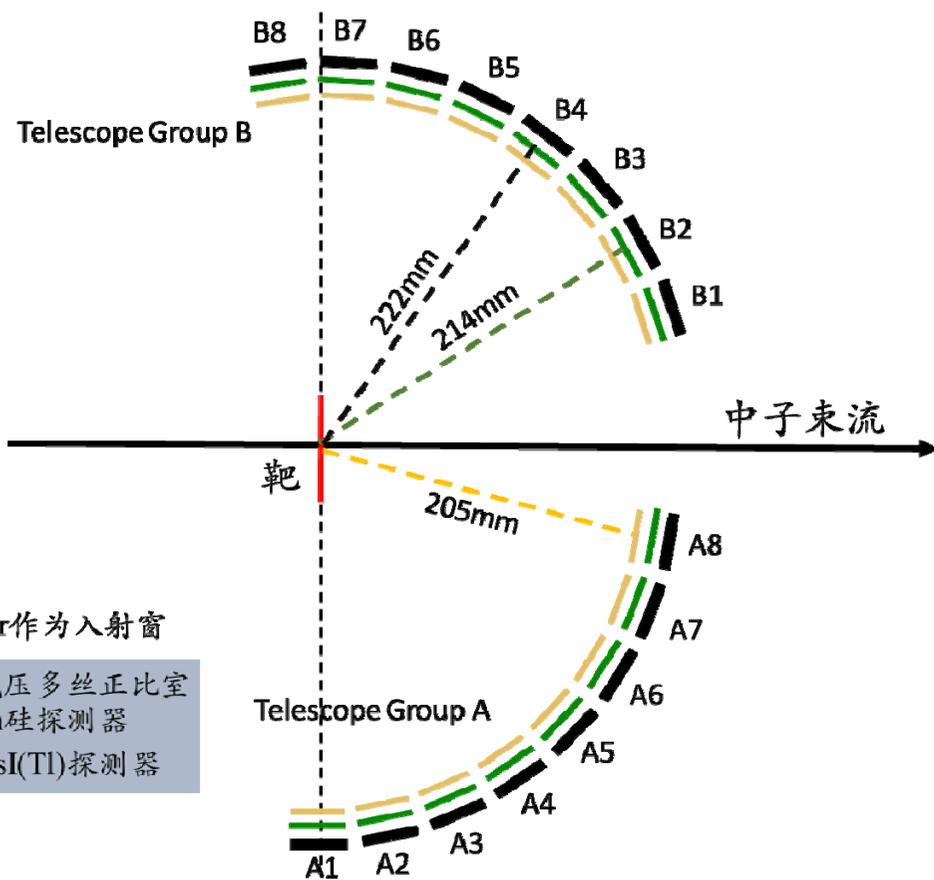
- 2020年6月28-30日开展 ΔE - ΔE - E 望远镜测试实验
- LPDA前后各加30 μm 的Ta窗，望远镜盒子0.2 atm时，LPDA靶室真空好于 10^{-2} .
- 靶：1: 6 μm Mylar; 2: ${}^6\text{LiF}$ +100 μm PET; 3: 空靶; 4: α 源;
- 实验共开展49小时;

beam	target	duration
束斑大小 $\phi 50 \text{ mm} + \phi 15 \text{ mm}$	${}^6\text{LiF}$	7h
	Mylar	20h
	empty	2h
束斑大小 $\phi 50 \text{ mm} + \phi 50 \text{ mm}$	${}^6\text{LiF}$	2.5h
	Mylar	4.5h
	empty	1h
束斑大小 $\phi 12 \text{ mm} + \phi 15 \text{ mm}$	${}^6\text{LiF}$	2.5h
	Mylar	8.5h
	empty	1h



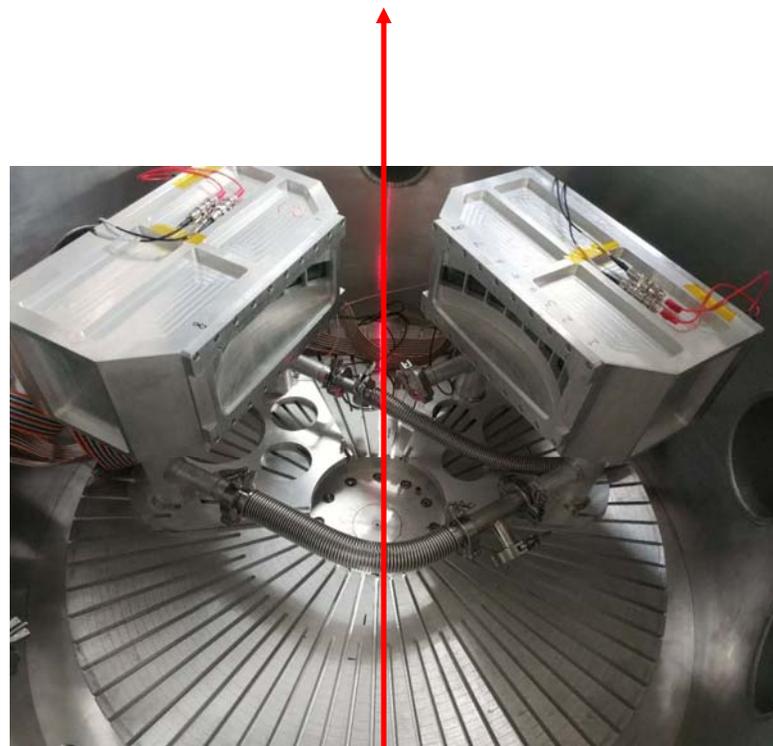
α 粒子信号

$\Delta E-\Delta E-E$ 望远镜测试实验



6 μm Mylar作为入射窗

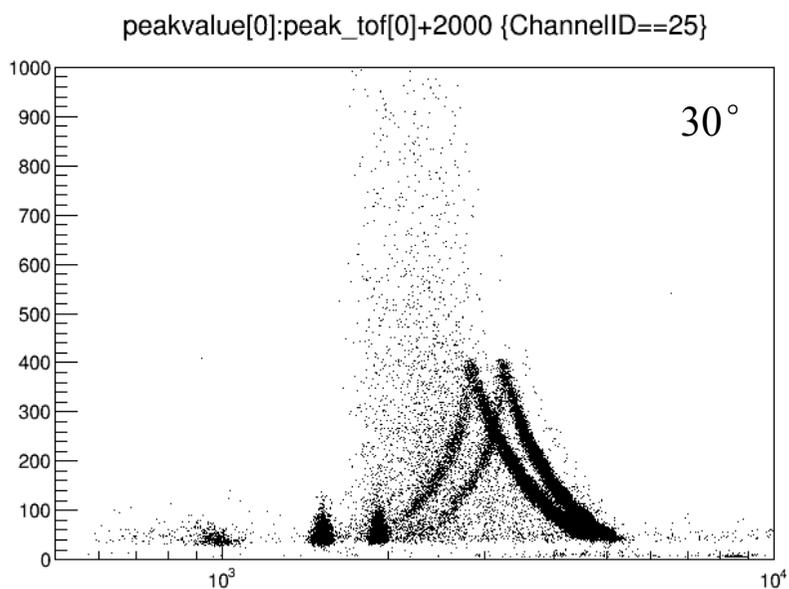
0.2 atm 低气压多丝正比室
300 μm 硅探测器
3 cm CsI(Tl)探测器



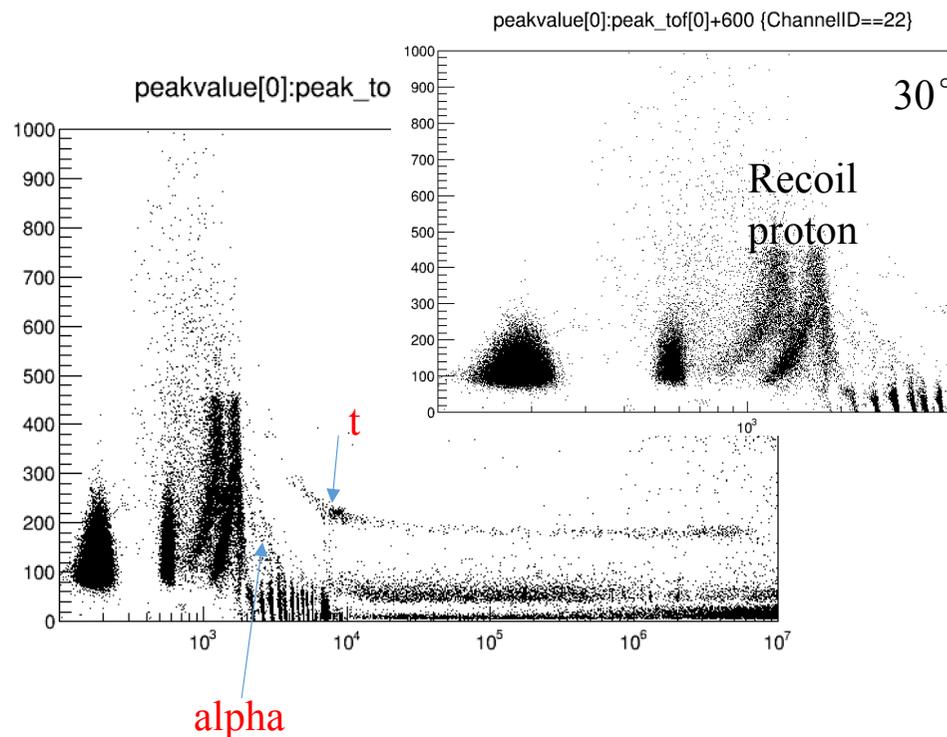
中子束流

硅探测器幅度vs飞行时间二维谱

$\phi 50+\phi 15$ 束斑组合

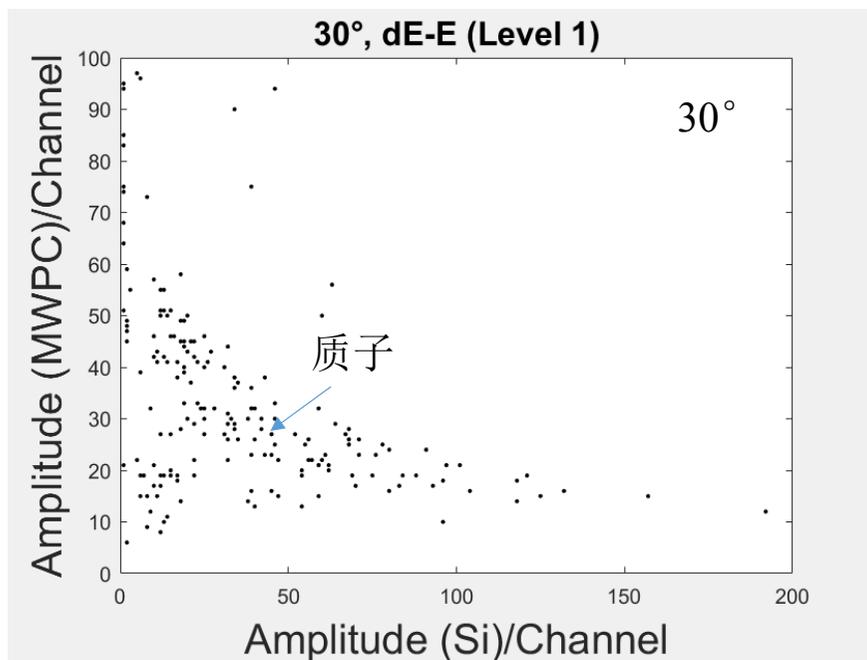


np散射得到的质子

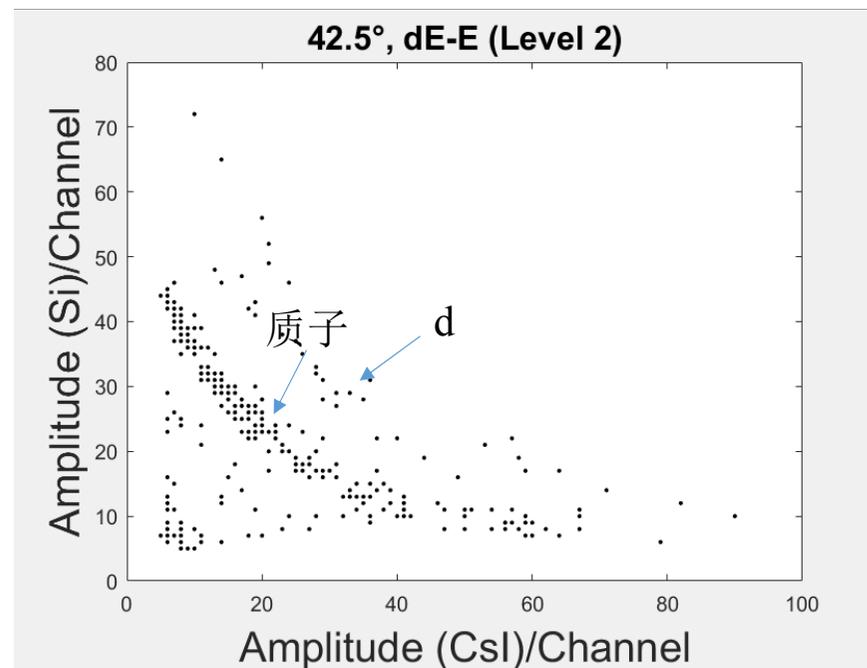


${}^6\text{LiF}$ 靶得到的结果（靶中吸H，有大量反冲质子）

ΔE - E 粒子鉴别二维谱



经由Si+MWPC ΔE - E 符合后的事件



经由Si+CsI ΔE - E 符合后的事件

总结

- 利用硅阵列探测器、Si+CsI(Tl)、MWPC+Si等探测器组合已经在Back-n开展了数次截面测量研究工作，并且取得了良好的结果。
- 经过Si+CsI(Tl)、MWPC+Si等 ΔE - E 望远镜设置的探索，目前已经建设一套 ΔE - ΔE - E 望远镜系统。
- 该 ΔE - ΔE - E 望远镜工作状态良好，探测效率等参数，以及实际的性能还需进一步实验检验。计划下半年利用 ΔE - ΔE - E 望远镜开展1.5-15MeV中子能区的np散射截面测量工作。