

白光中子源探测器预研

2016年重点实验室开放课题资助10万元

报告人：樊瑞睿



提纲

1. 项目背景
2. 硬件工作及测试结果
3. 总结及后续工作计划

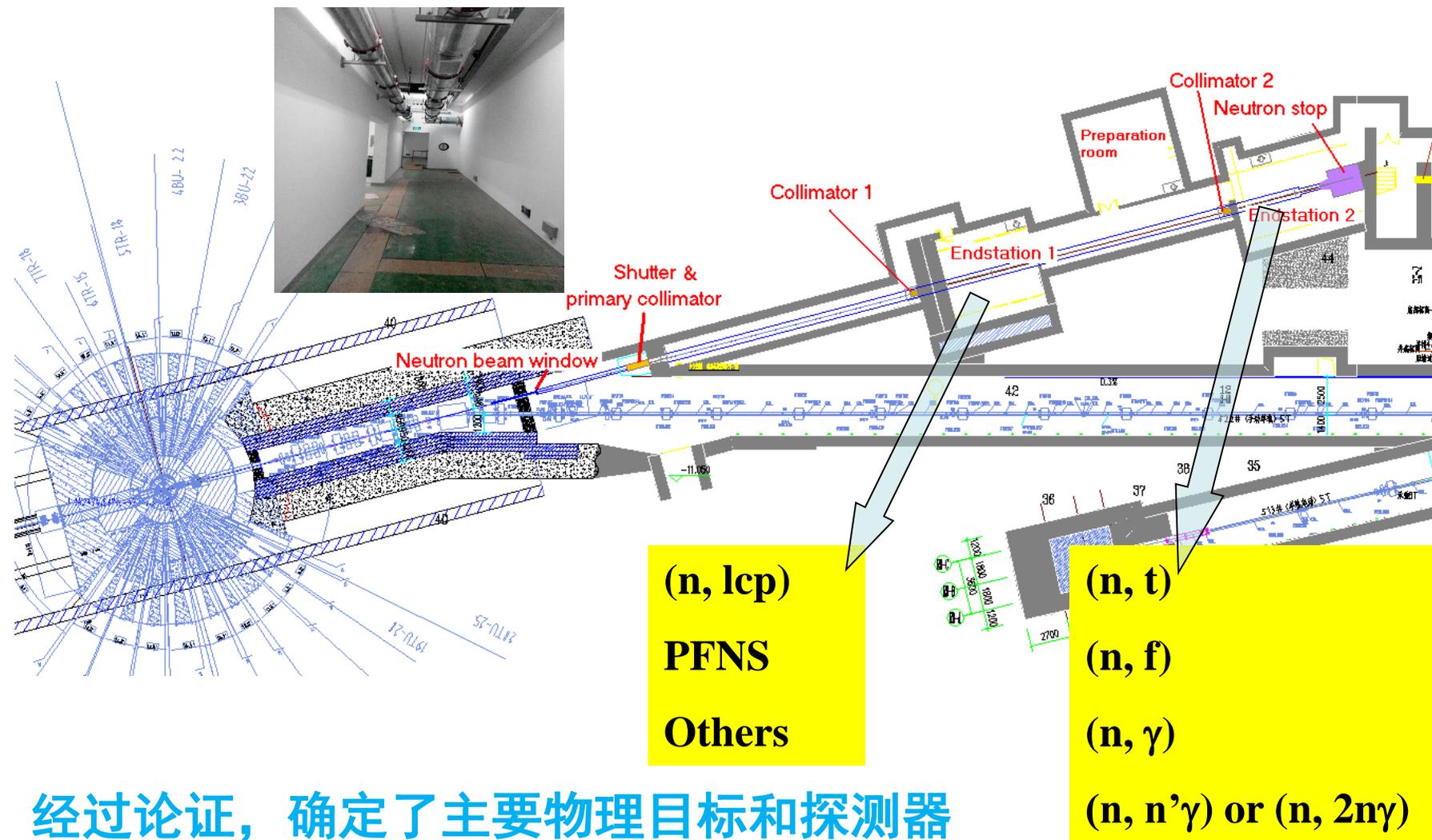


研究内容

■ 白光中子源国内外现状和趋势

- 白光中子源国际上开展核数据测量实验研究的最重要实验装置
 - 国防核应用、先进核能技术、核天体物理和基础核物理
 - 新时期对核数据测量的精度和广度都提出了更高的要求
- 国内目前没有开展核数据研究的白光中子源，近期其他单位也没有建造白光中子源的现实计划；核数据测量研究只能在能点少、强度弱的串列加速器 and 高压倍加器上进行，很多重要的测量研究工作一直没有条件开展
- 国际上，早期的白光中子源主要是利用强流和中能的电子直线加速器来开展的（代表：OREAL、RPI、GELINA和IREN），从上世纪80年代后期开始，脉冲白光中子源便朝着基于高能质子直线加速器的方向发展（代表：ORNL/LANSCE、CERN/n-TOF、J-PARC/NNRI）
- CSNS反角白光中子源将是国际上非常有竞争力的，实现我国的跨越式发展

CSNS反角白光中子实验终端布局



经过论证，确定了主要物理目标和探测器设计方案，将建设6套探测器系统。



带电粒子反应意义

反应举例

- ${}^3\text{He}(n,p){}^3\text{H}$ 中子探测 中子核反应标准 逆反应为
中子源
- ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 造氦 中子探测 中子核反应标准
- ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$ 反应堆控制 中子探测 中子核反
应标准
- ${}^{10}\text{B}(n,t+\alpha){}^4\text{He}$ 三体反应 造氦 轻核反应机制
- ${}^{40}\text{Ca}(n,\alpha){}^{37}\text{Ar}$ 中子通量测量 核查
- ${}^{56}\text{Fe}(n,\alpha){}^{53}\text{Cr}$ 堆器结构材料 氦脆 余核稳定
- ${}^{102}\text{Ru}(n,\alpha){}^{99}\text{Mo}$ 快中子反应造钼-99 钼铈发生
器
- ${}^{149}\text{Sm}(n,\alpha){}^{146}\text{Nd}$ 堆内毒物 核天体物理

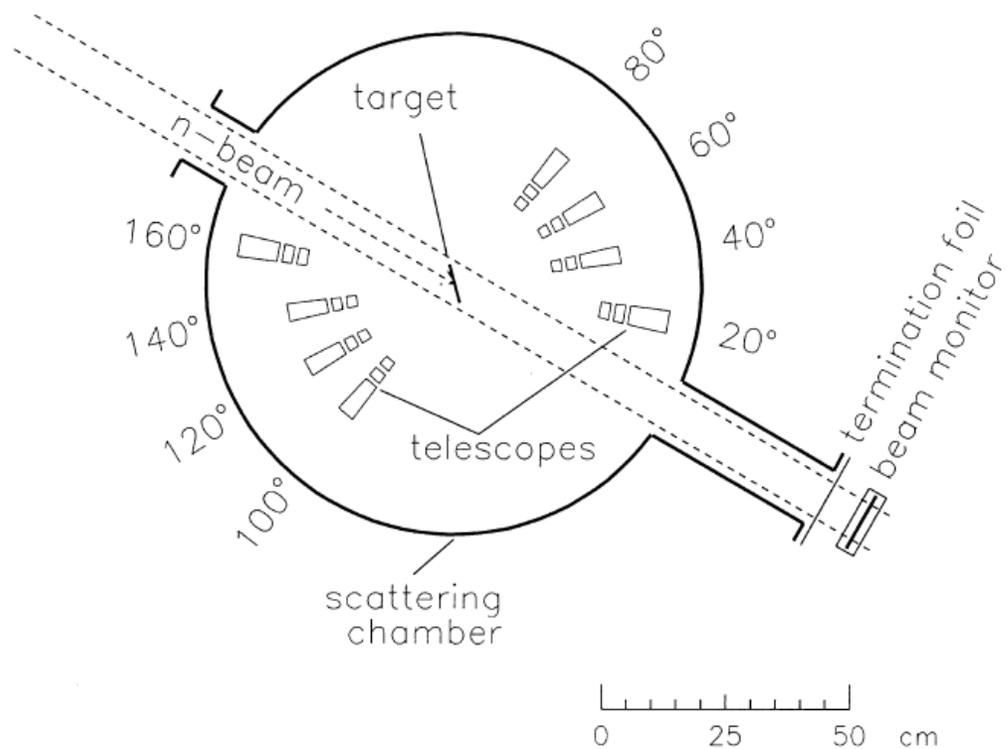
研究现状和难点

- (n,x) 反应数据在热堆中不重要但在快堆、
四代堆、聚变堆、ADS中却非常重要
- 实验数据缺乏 评价库之间分歧
- 已有测量绝大多数采用活化法要求余核有放射性和适当半衰期
- 中子源弱、反应截面小、本底干扰强
- 需要高富集度同位素样品
- 需要大面积、薄样品
- 结果要进行修正



方案蓝本

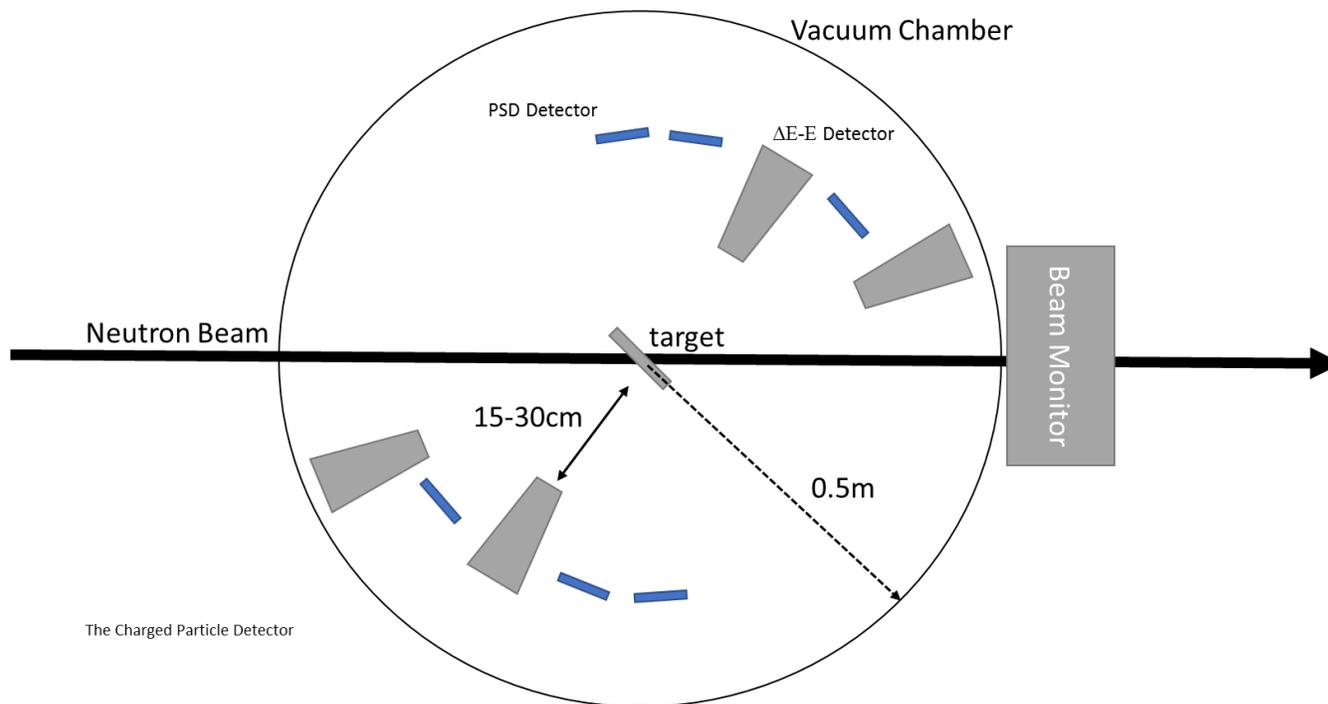
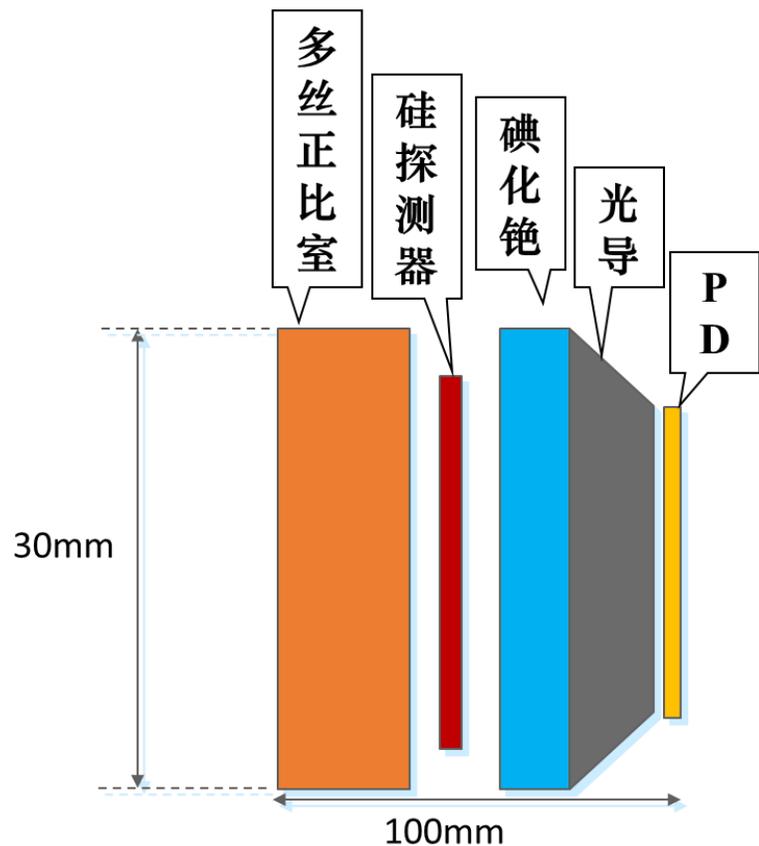
- 版本一：硅+硅+CsI
- 版本二：气体+硅+CsI



版本一依据MEDLEY探测器为原型，探测能区为8-100MeV
版本二依据LANSCE探测器为原型，探测能区为4-50MeV



设计参数



探测器由两个dE探测器（分别为气体探测器和Si探测器，设计厚度为20mm和300 μ m）和一个E探测器（为30mm长CsI晶体，用PD光二极管耦合）组成。

探测能区：0.5-100MeV（质子）

时间分辨率：<5ns

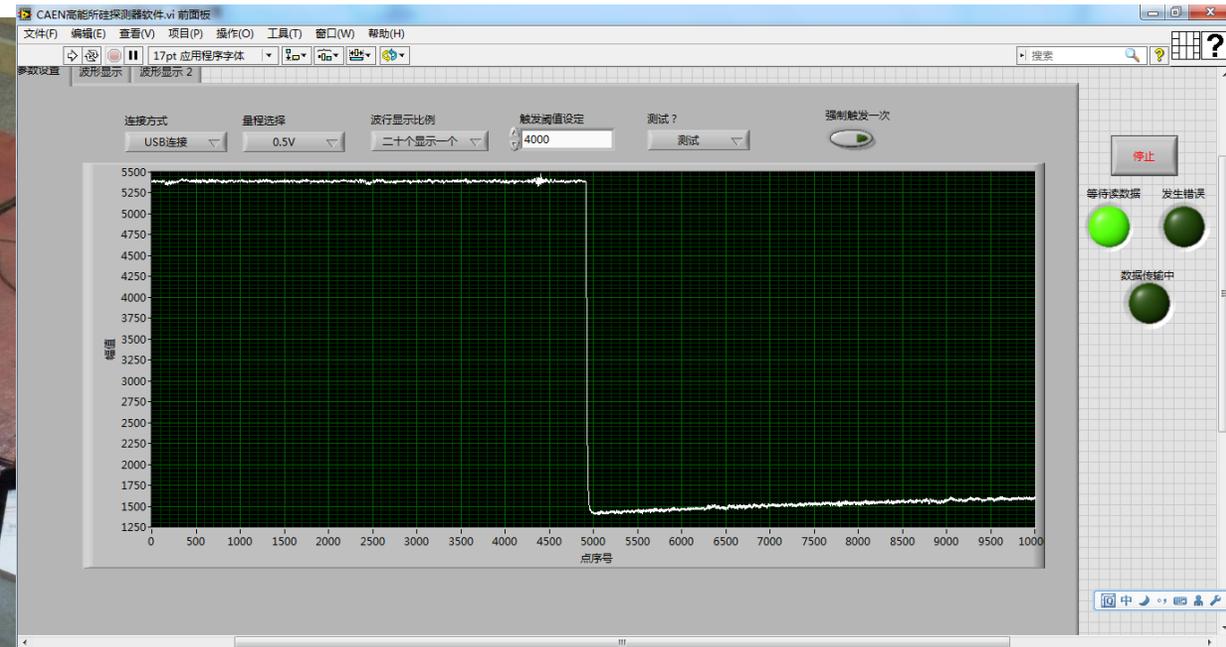
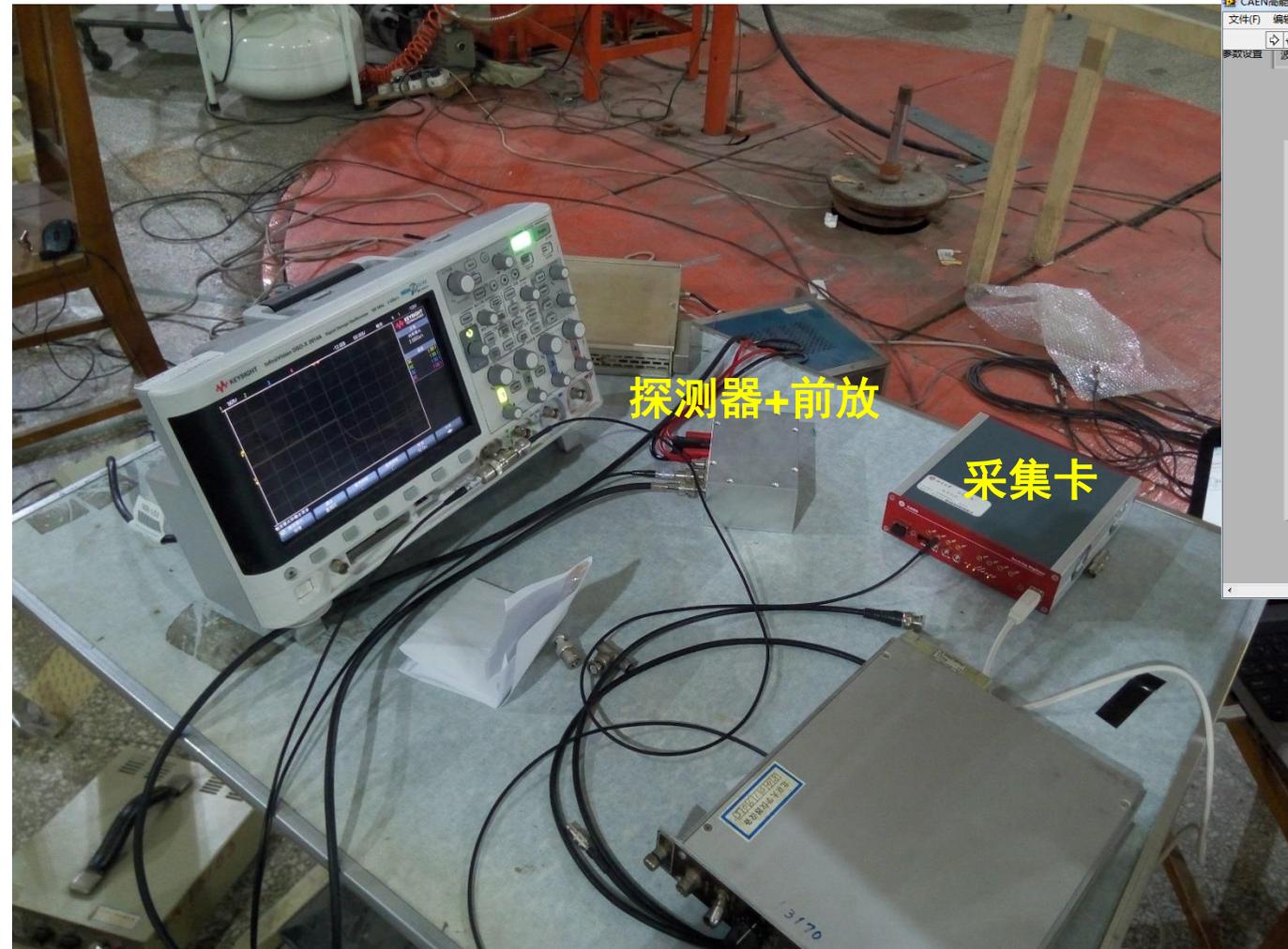
探测目标：氢核、氦核等轻核子



2016年工作进展

- 硅探测器信号与采样电路匹配摸索
- 硅探测器性能测量
- ΔE -E探测器性能摸索

硅探测器信号研究



从前放得到的硅探测器信号下降沿

使用北大500MHz桌面采集卡对硅探测器信号进行了研究，主要目标摸索硅探测器信号性质与采样ADC电路进行初步匹配，并为未来PSD方法进行初步积累。测试使用了 α 源进行了测试，分别从硅探测器两面入射可以得到上升时间差别。从而确定给定厚度（300微米）的硅探测器中信号的最小（正面入射）和最大（背面入射）上升时间差别。

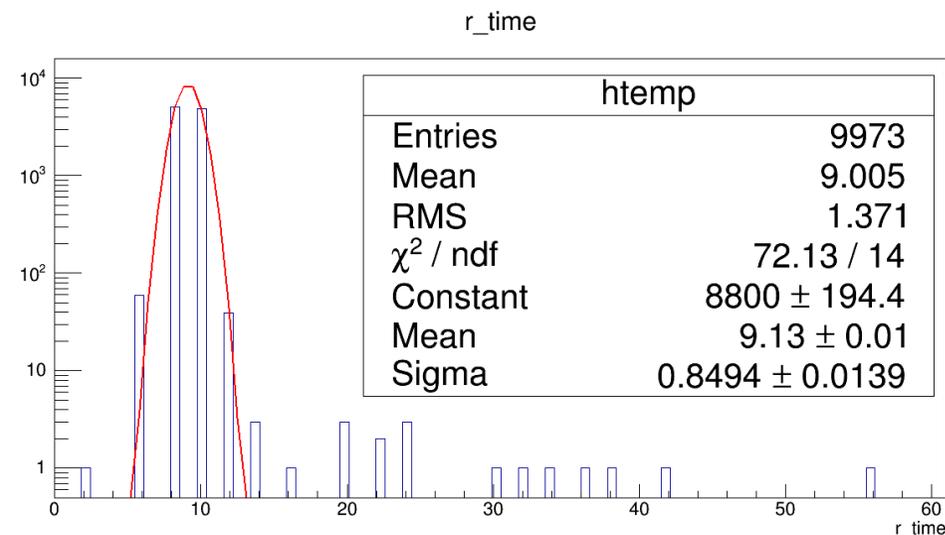
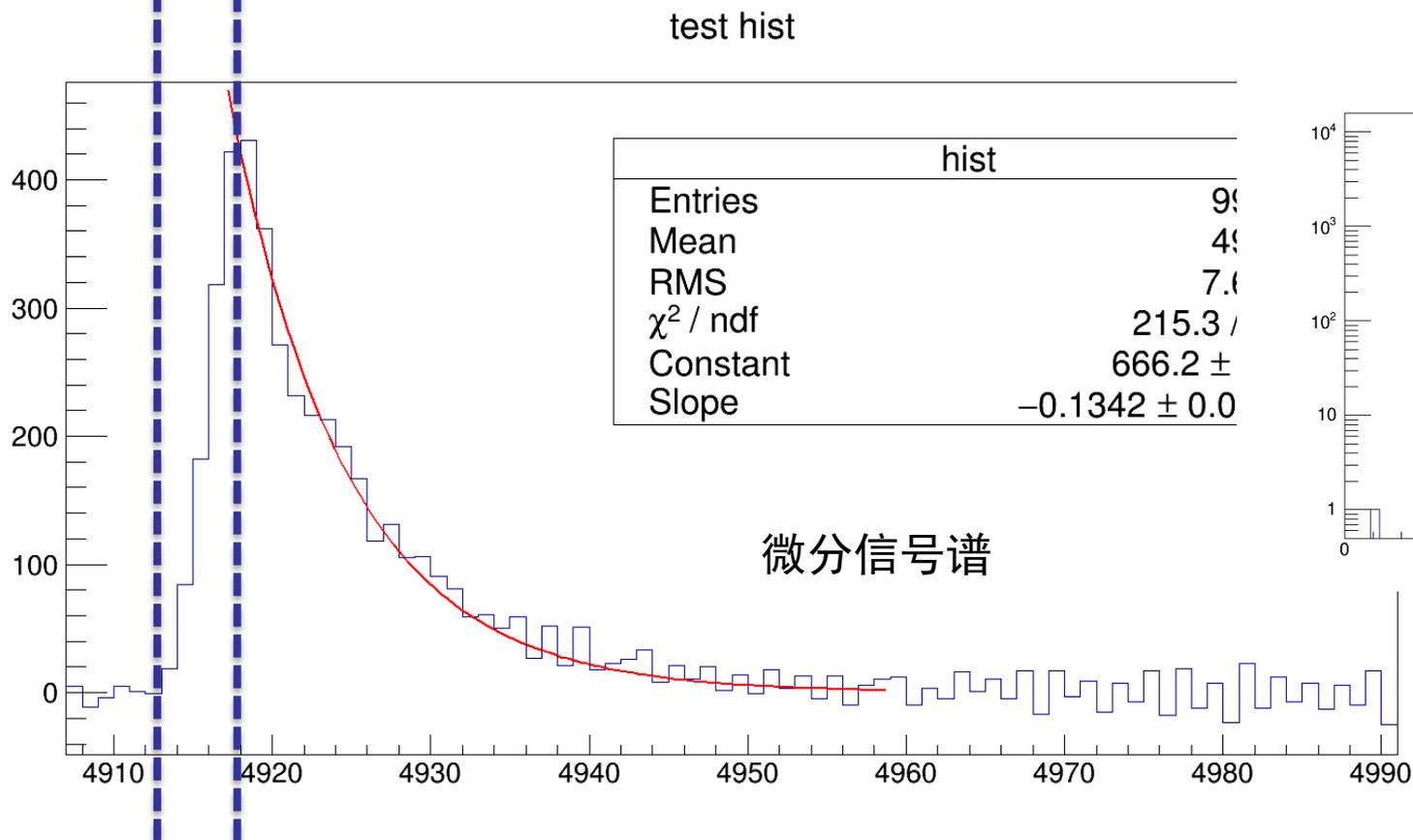


正面入射：电子信号@80V

信号上升时间



微分信号谱给出了将探测器前放信号随时间的一阶微分（左图），从谱中可以得到真实信号上升部分（左边）和前放RC时间部分（右边）。计算中我们取最大值的10%到最大值的时间作为信号上升时间，在大量事件统计后（右图）可以得到探测器信号的真实上升时间。

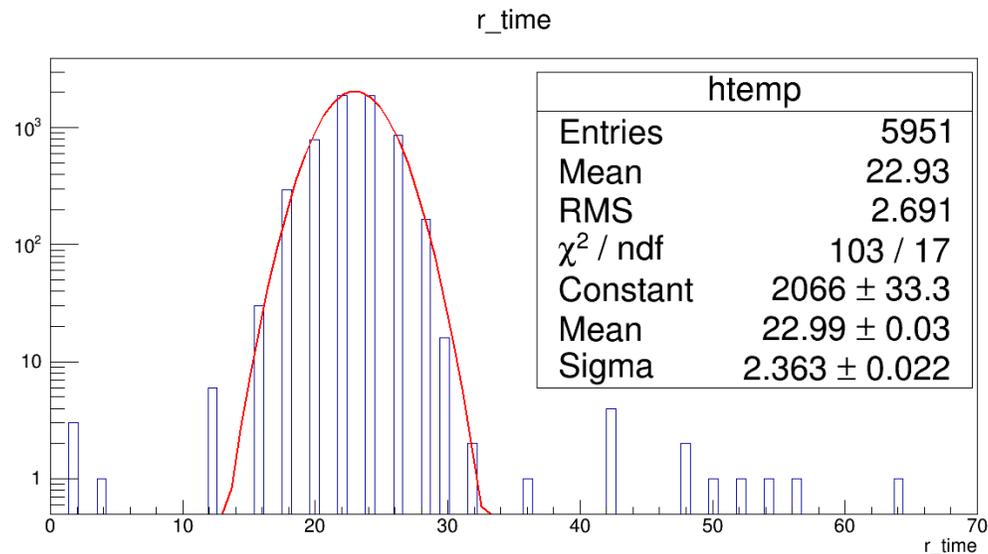
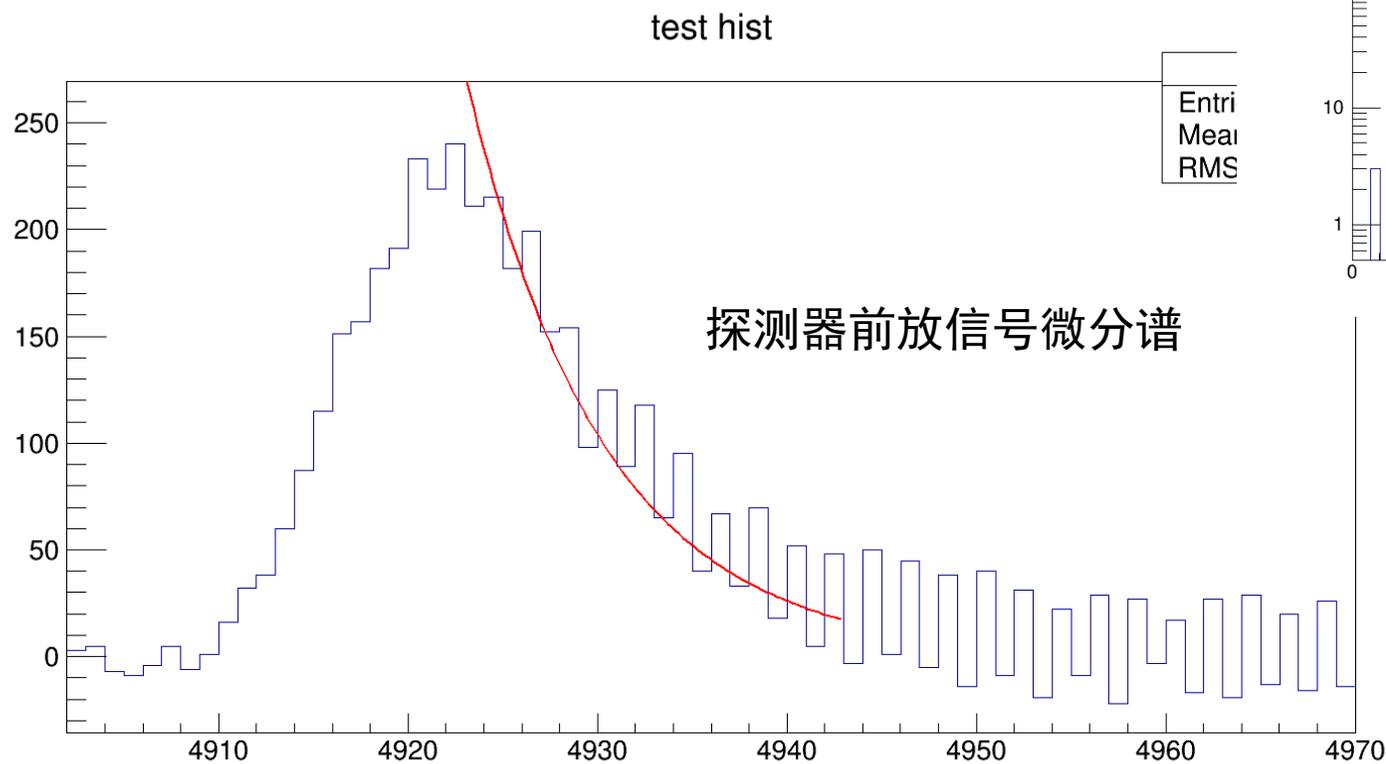


正面入射信号上升时间经大量统计后得到值约为9.13ns，理论计算8ns。



背面入射：空穴信号@80V

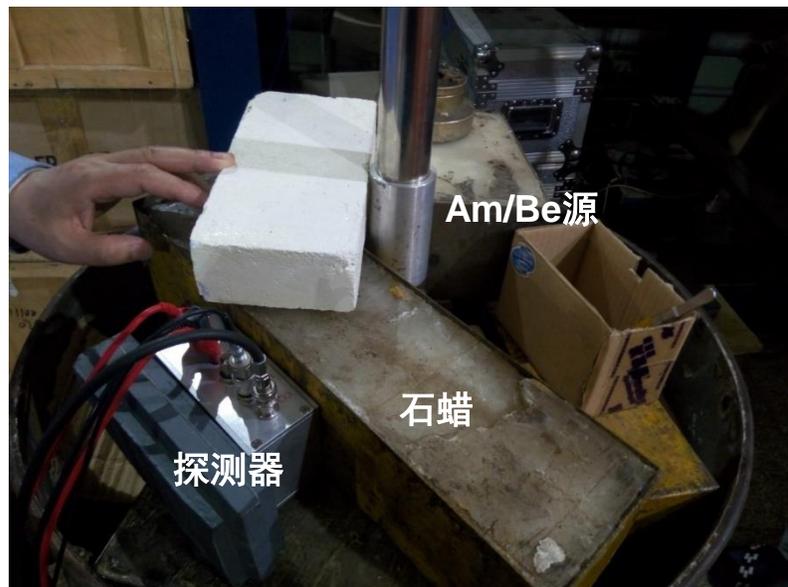
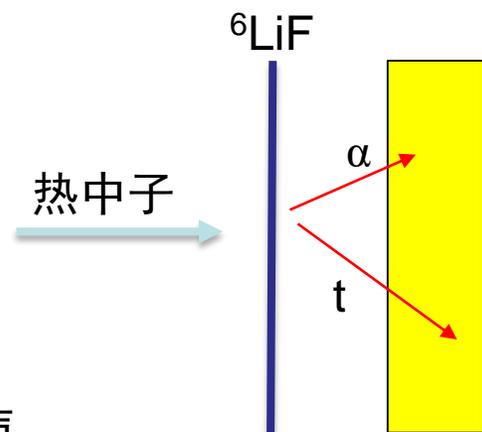
这种数据处理方法应用在背面入射可以得到探测器背面入射时的上升时间



背面入射信号上升时间22.99ns，理论计算23.4ns

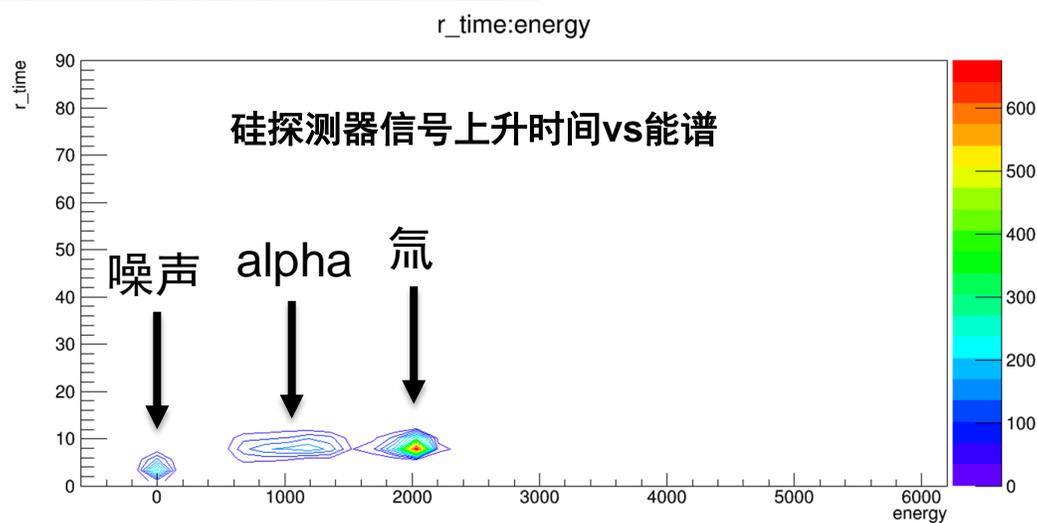
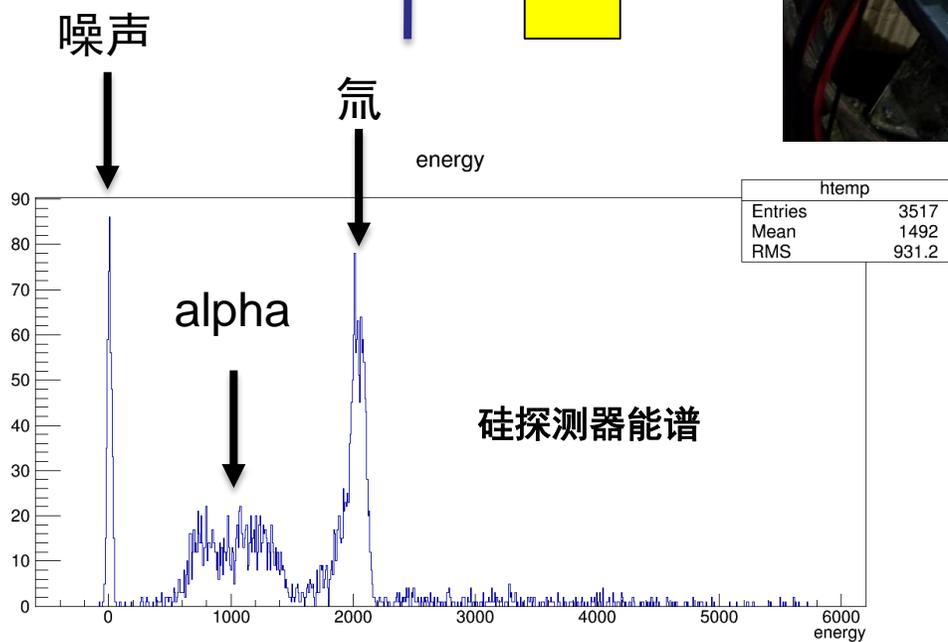
使用这种数据处理方法还进行了不同电压，不同厚度硅探测器信号测量，均得到了较好的效果。类似的数据处理方法可以应用在白光中子源在线束流实验中，以实现硅探测器PSD粒子鉴别；300微米硅探测器信号上升时间差别约20ns，真正实验中考虑使用450-500微米厚硅探测器进行PSD鉴别。

使用 ^6LiF 与热中子反应测试



^6LiF 薄膜与热中子反应实验。实验采用Am/Be源，通过石蜡慢化后与 ^6LiF 薄膜反应。探测器直径12mm厚300微米，薄膜直径7mm厚2.8微米。

实验给出了能谱及PSD粒子分辨谱，从能谱中可以明显区分 α 和氘（650keV）。由于热中子反应出射粒子能量较低，均阻止在硅探测器表面，所以从上升时间上无法实现粒子分辨。





ΔE -E探测器性能摸索

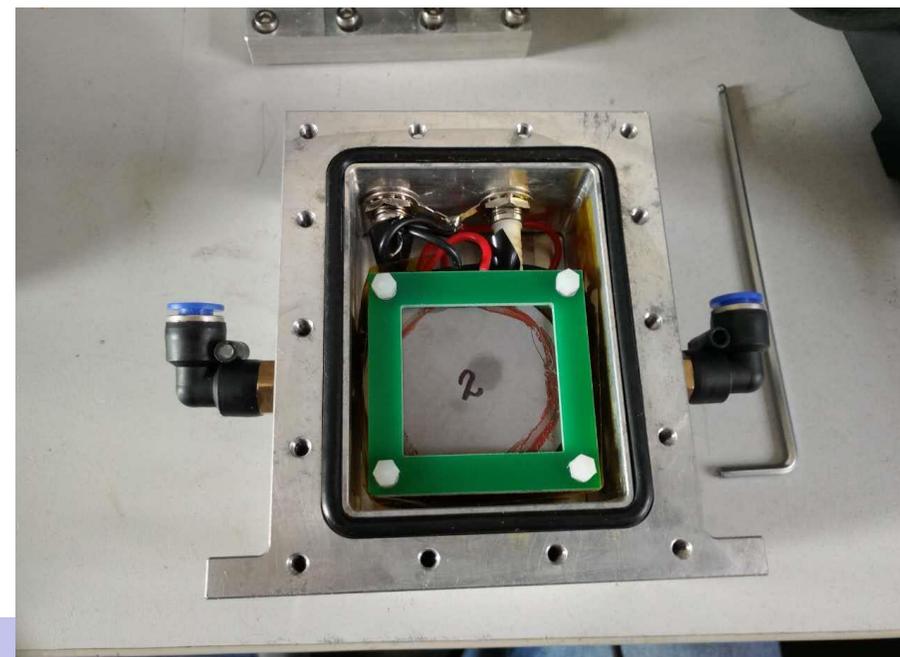


使用 ^{252}Cf 裂变中子源（未经慢化）， ^6LiF 作为转化层。

硅探测器前放使用自制前放，多丝室使用商业前放。

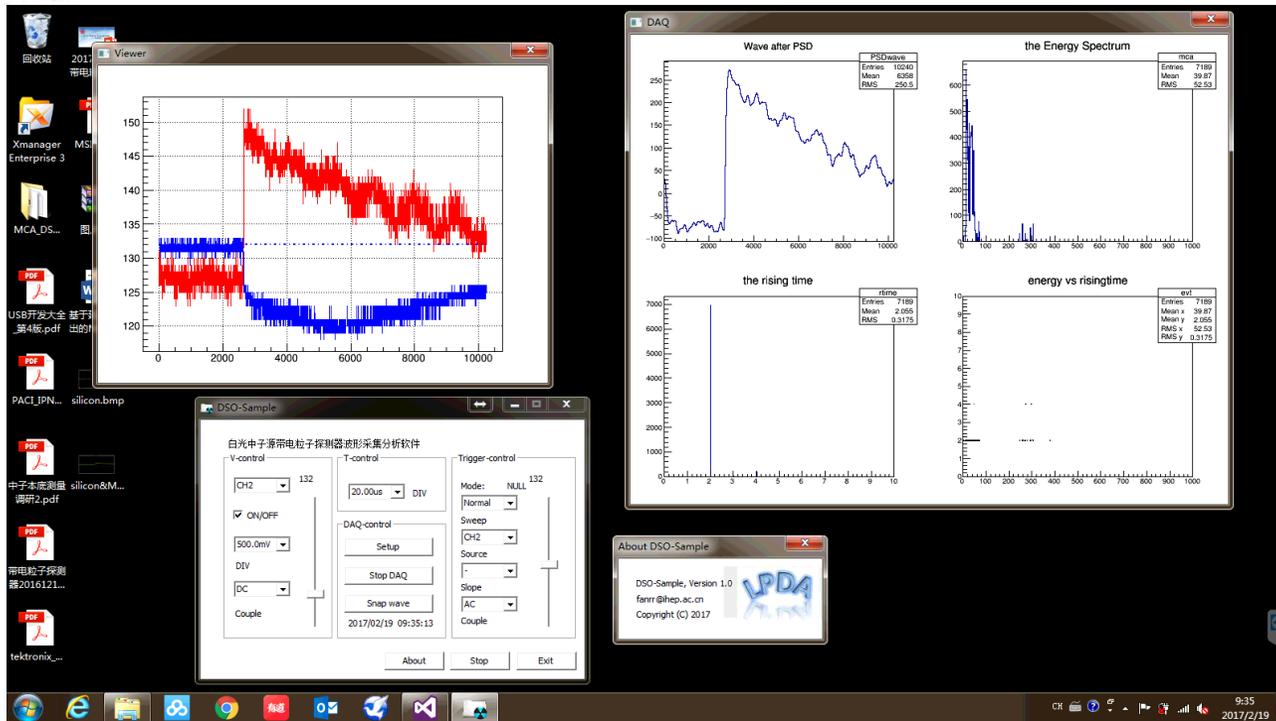
两路信号进入虚拟示波器，通过电脑采集。使用多丝室信号作为触发。

气体使用10% CO_2 +90% Ar 。

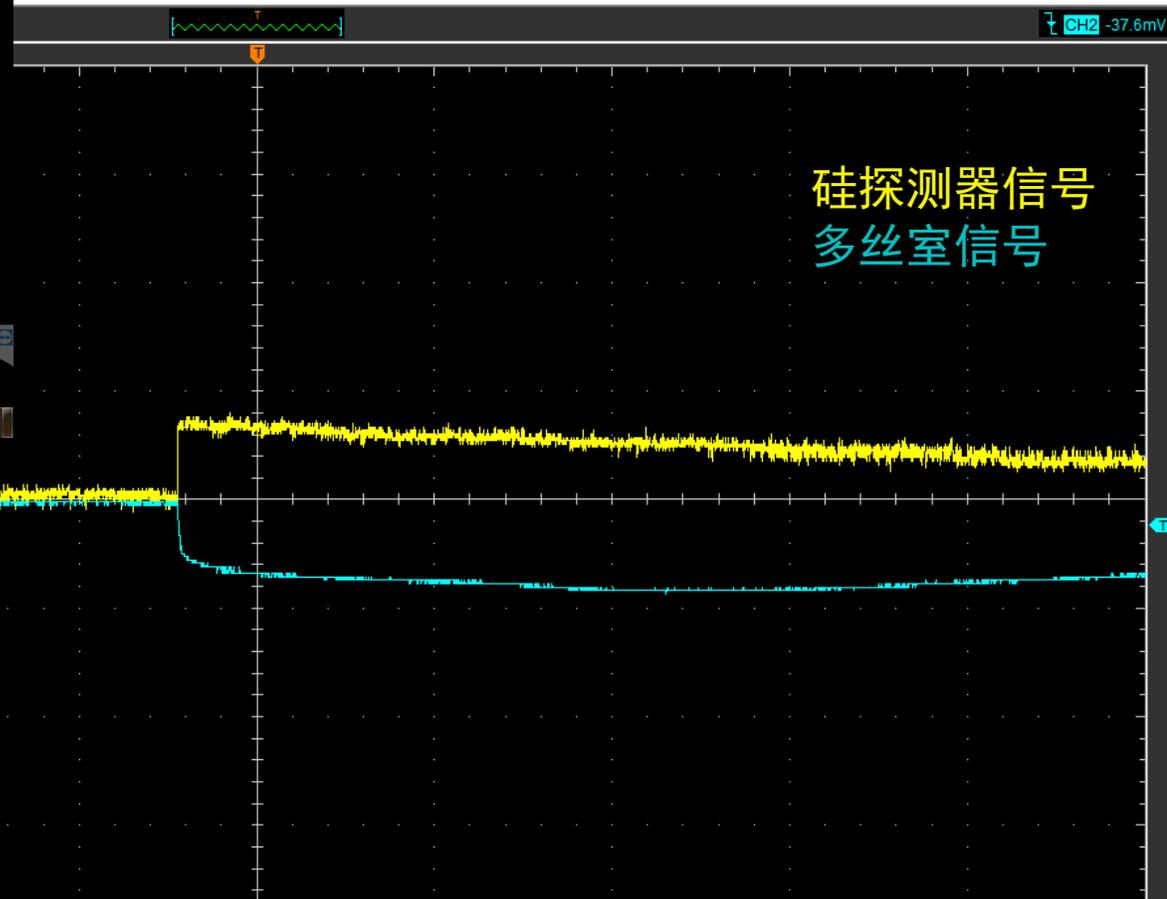




软件截图



使用商用虚拟示波器作为采样ADC采集数据

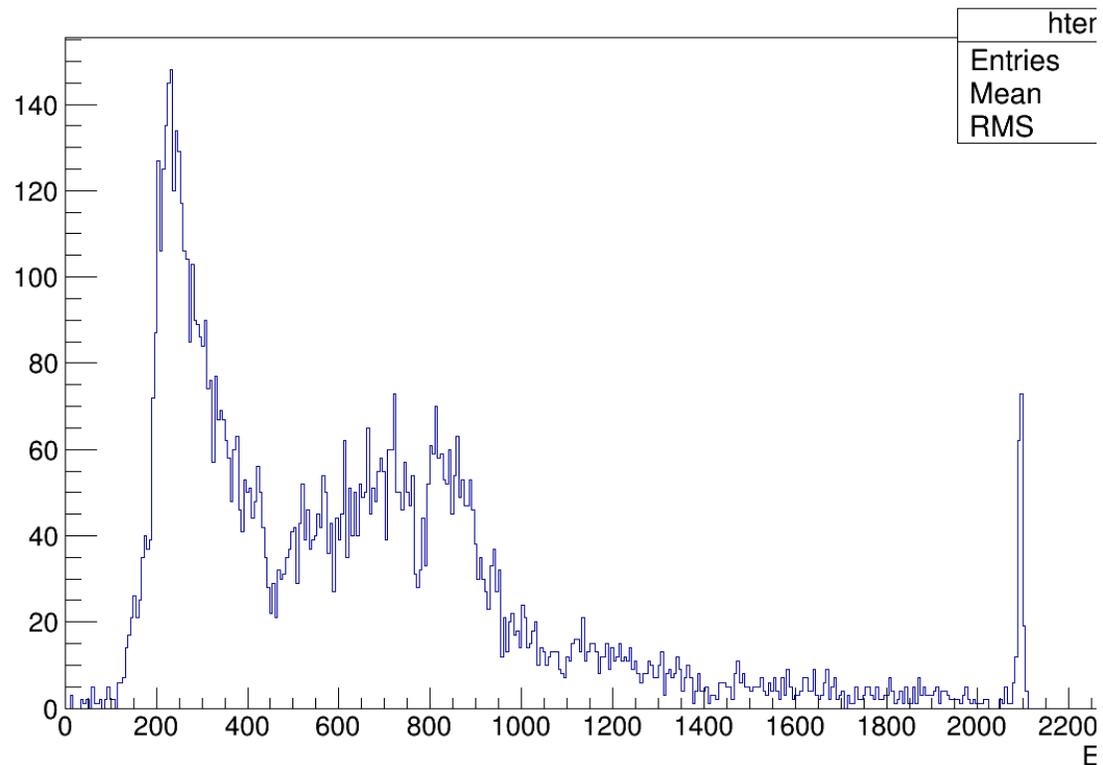


自行编写了获取软件
及滤波程序



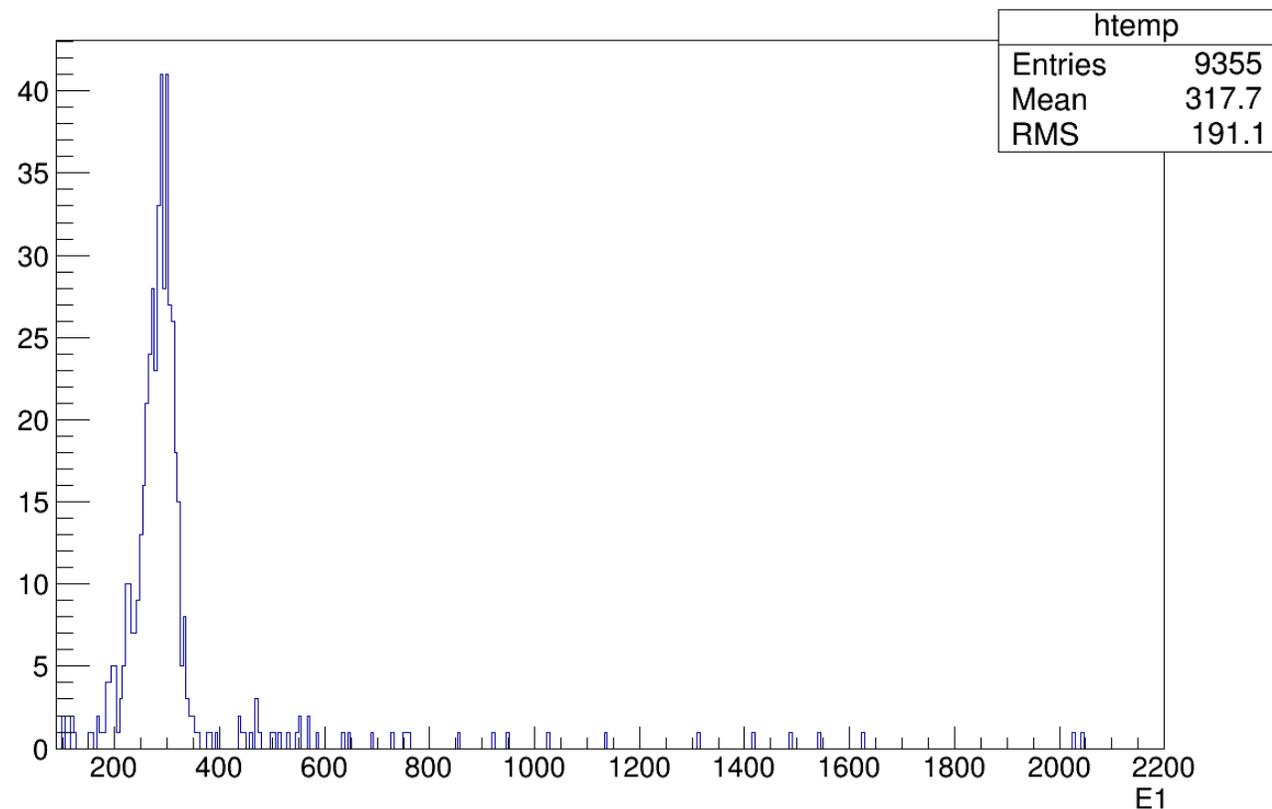
探测器信号能谱

E2



MWPC能谱

E1

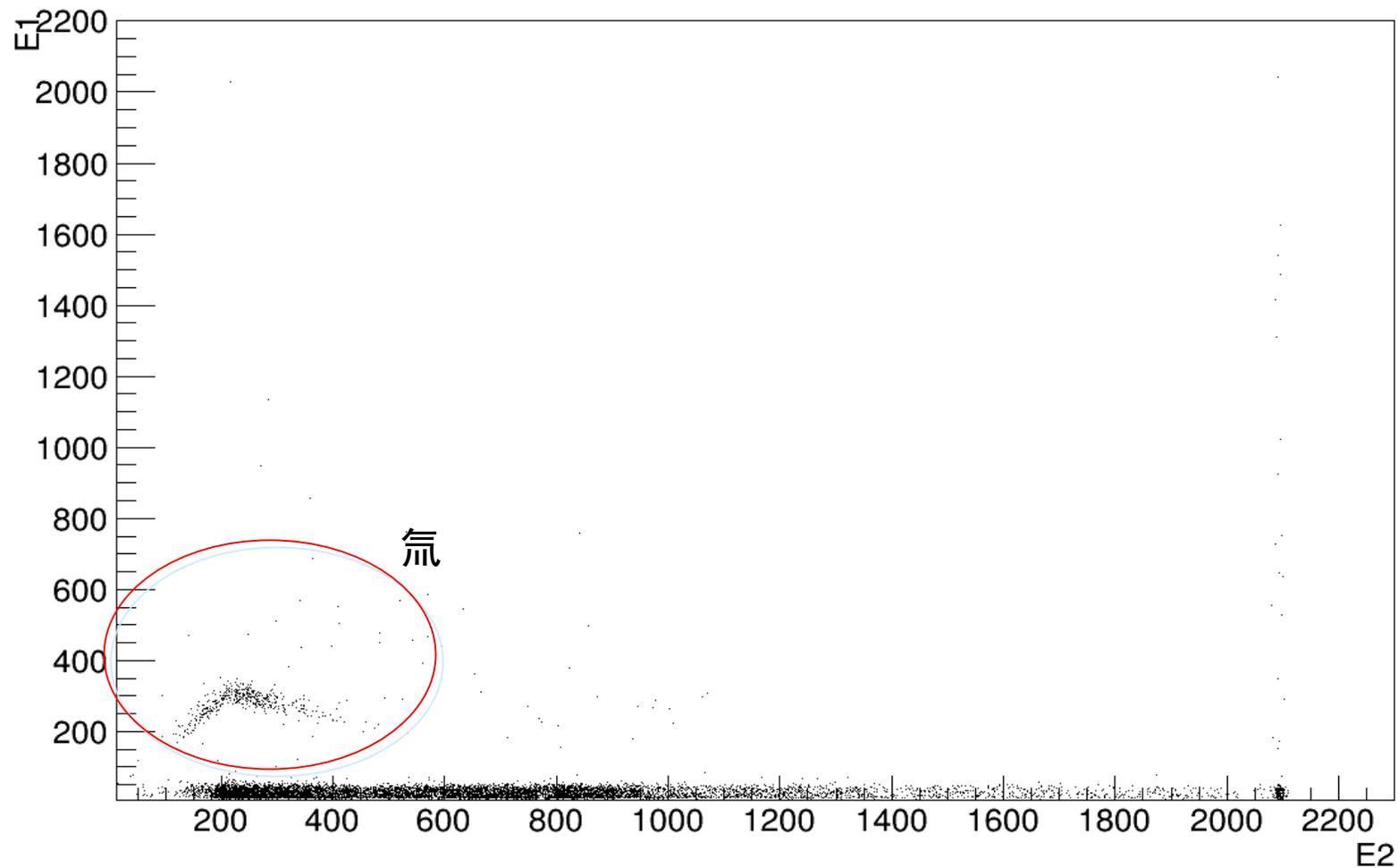


硅探测器能谱



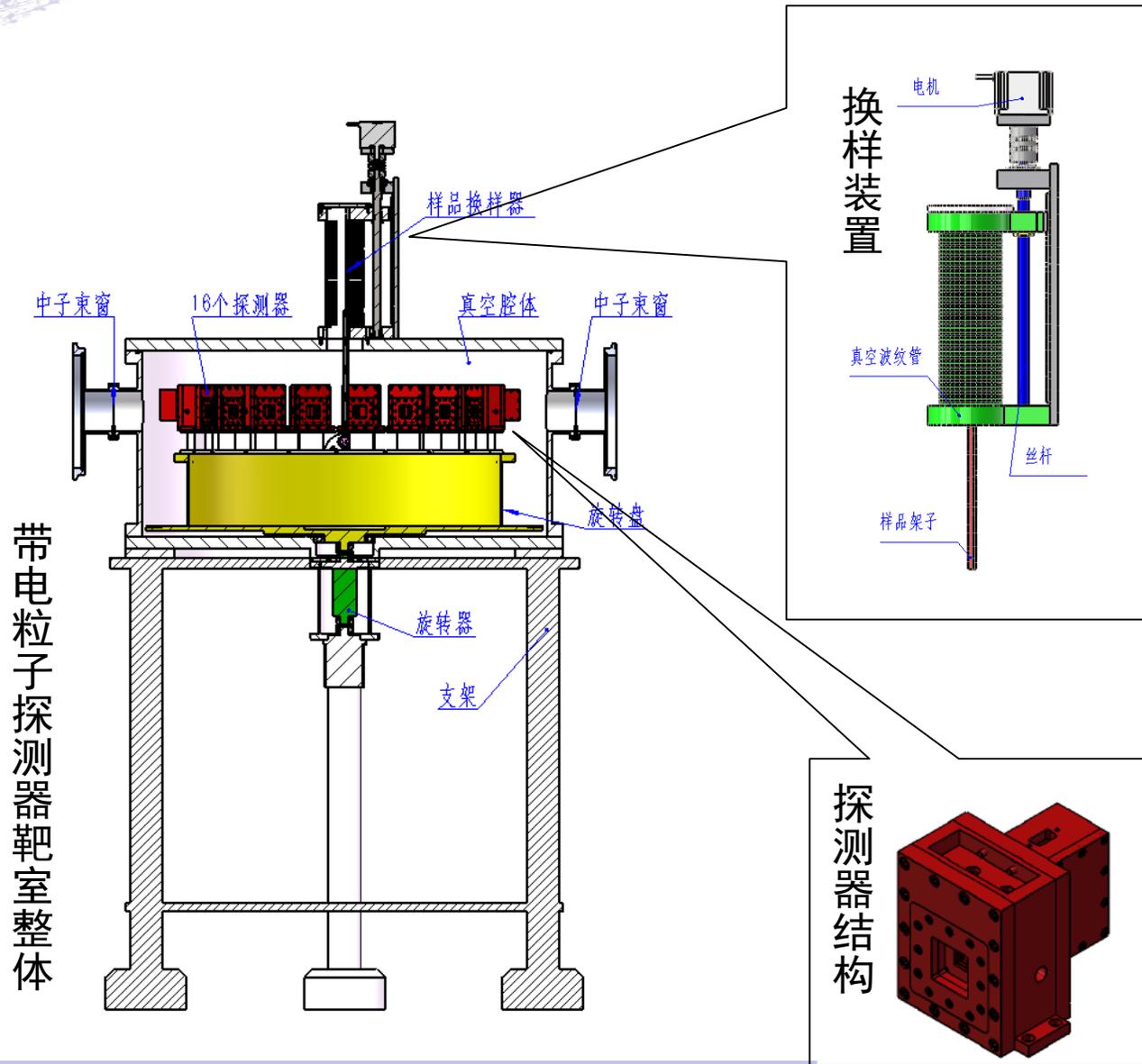
二维谱 ΔE -E谱

E1:E2



横坐标为MWPC信号道数，纵坐标为硅探测器信号道数。

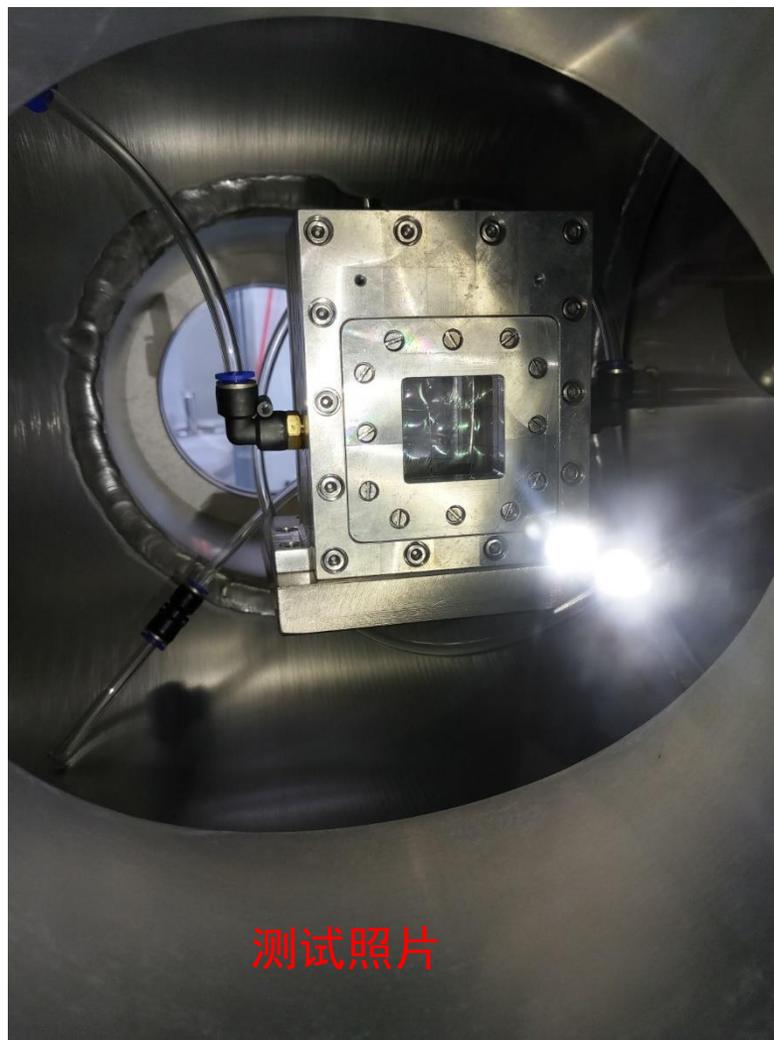
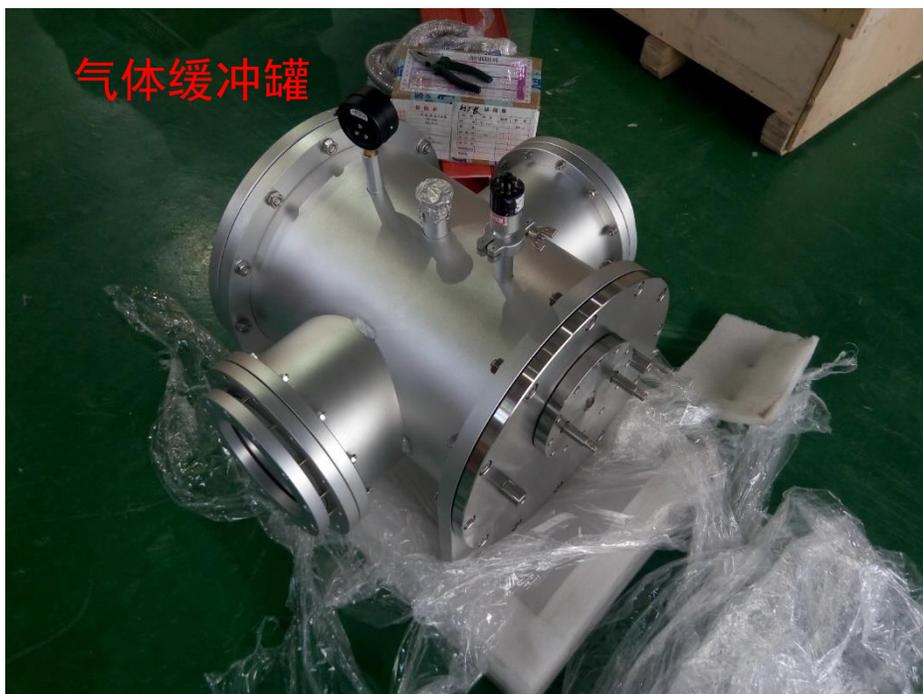
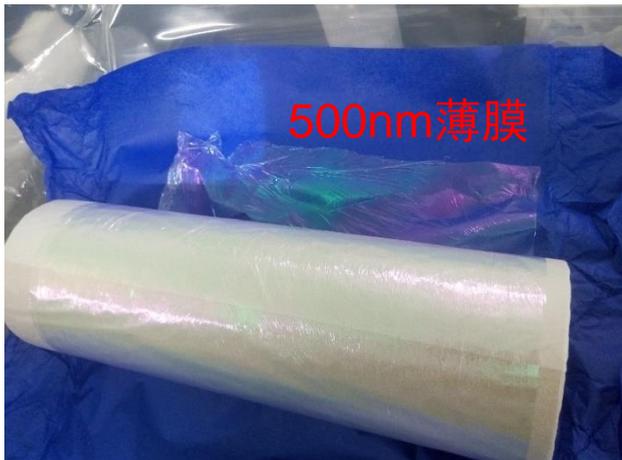
真空靶室设计



中子束窗测试：120微米Kapton（左）和Mylar膜（右）

真空靶室包括：真空腔，换样装置，探测器支架及旋转台，中子束窗，真空泵系统等。其中，真空腔及换样装置，探测器单体机械结构已设计完毕，转台及探测器支架正在设计中。预计2016年7月份完成。2017年初完成加工。中子束窗进行了真空破坏实验，确认120微米Kapton适合作为靶室真空密封束窗。

薄膜气压承受测试



采购了500nm超薄薄膜作为探测器入射窗，制作了专用气体缓冲罐。通过测试证明500nm薄膜可以承受5000Pa气压不破裂



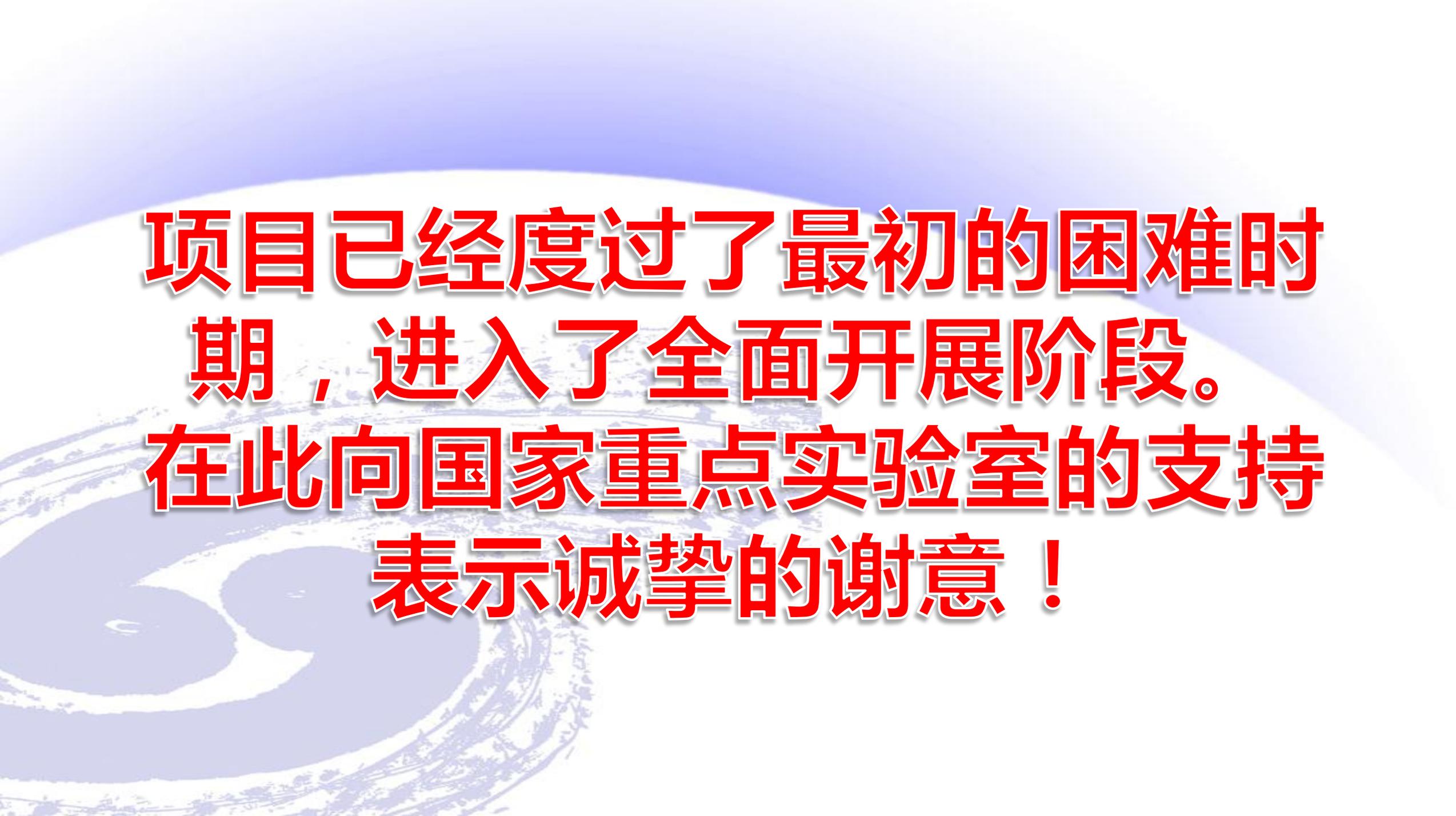
经费使用情况

支出科目	预算金额（万元）	本年度支出（万元）	备注
1.科研业务费	0	0	
2.实验材料费	1	1	购买超薄Mylar膜及其他实验使用材料
3.仪器设备费	6	8	购买低真空控制系统及真空泵
4.会议、差旅费	2.5	1	用于北京及东莞人员差旅费用
5.文献信息费	0.5	0	
合计	10	10	



2016年总结

- 完成了探测器的原型机研制
- 完成了探测器组合性能测试
- 2016年获得国家重点研发计划项目支持经费
- 正在准备2篇相关文章



**项目已经度过了最初的困难时期，进入了全面开展阶段。
在此向国家重点实验室的支持表示诚挚的谢意！**