

白光中子源带电粒子探测器

孙志嘉¹、张国辉²、樊瑞睿¹

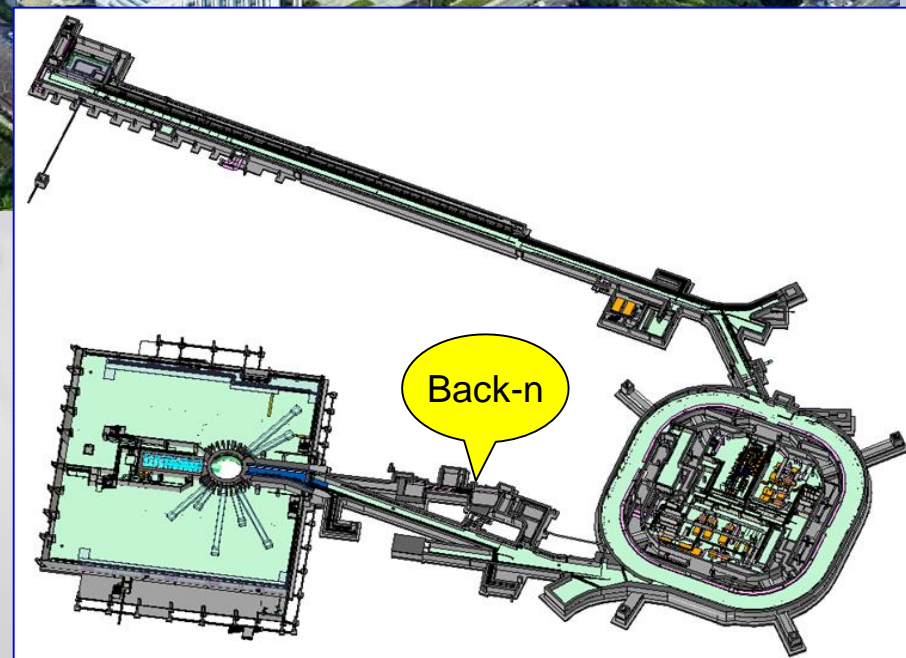
1 中国科学院高能物理研究所

2 北京大学

2018/10/16 衡阳

背景介绍

白光中子源“Back-n”于2018年初开始正式运行
是我国唯一一条宽能谱高能中子束线



白光中子源背景介绍

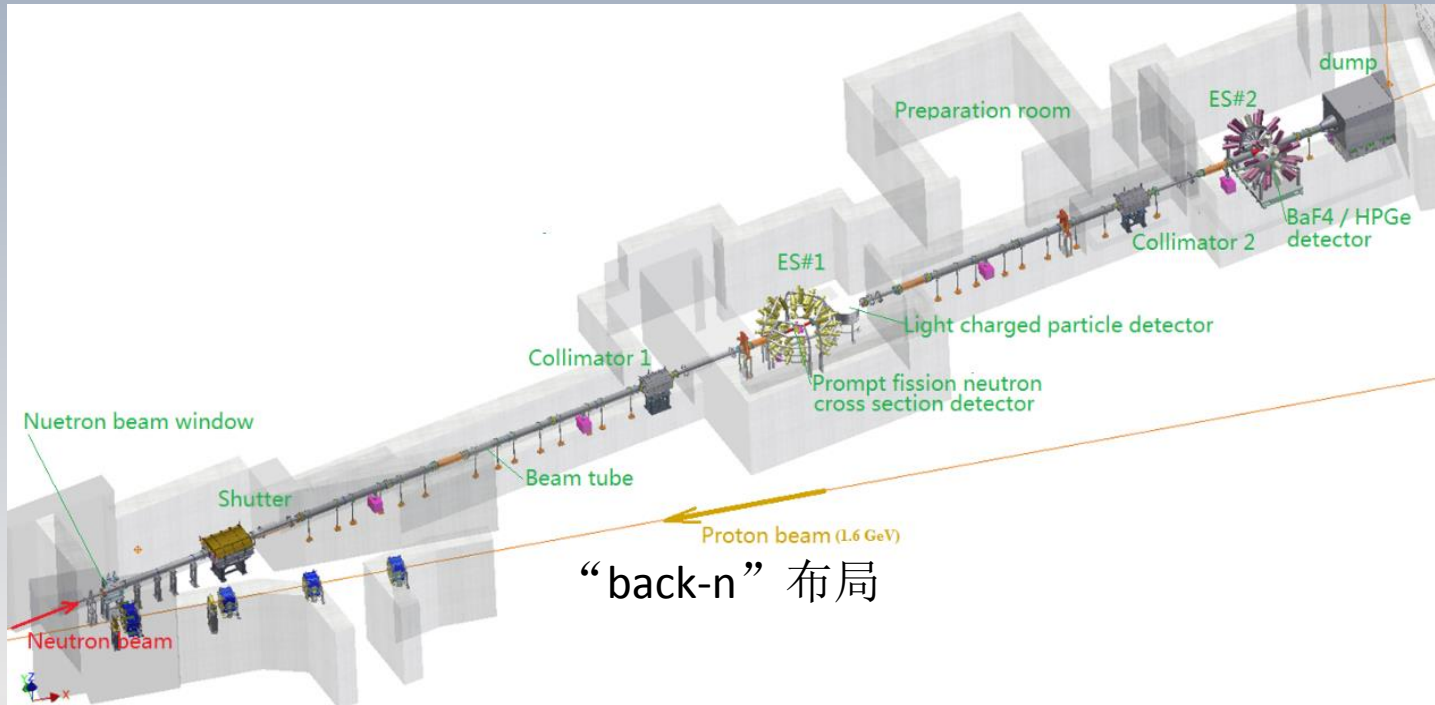


- 多家单位共同参与建设：
高能所、中科大、401、9院、西核所等
- 主要目标服务核数据测量
- 其他方向应用：
 - 探测器测试
 - 辐照效应
 - 单粒子效应测试

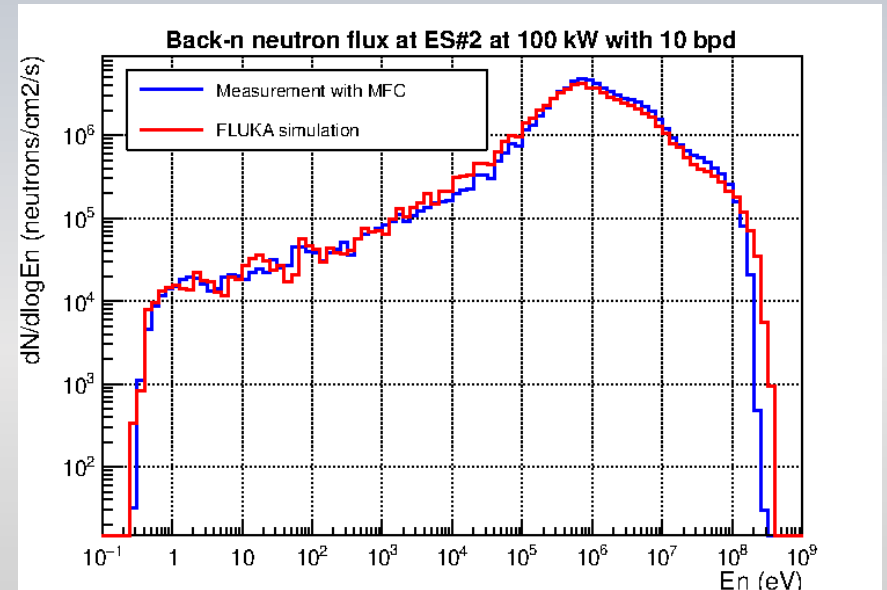


2018年1月22日至2018年7月20日，共完成32项不同实验。
提供束流时间（包括并行实验时间）为2075小时。

“Back-n” 白光中子源



Shutter (mm)	Coll#1 (mm)	Coll#2 (mm)	ES#1 spot (mm)	ES#1 flux (n/cm ² /s)	ES#2 spot (mm)	ES#2 flux (n/cm ² /s)
Φ3	Φ15	Φ40	Φ15	1.27E5	Φ20	4.58E4
Φ12	Φ15	Φ40	Φ20	2.20E6	Φ30	7.81E5
Φ50	Φ50	Φ58	Φ50	4.33E7	Φ60	1.36E7
78×62	76×76	90×90	75×50	5.98E7	90×90	2.18E7



束线通过TOF方法确定中子能量，分别设定两个实验厅，厅一中子飞行距离约55m，厅二约80米。中子能谱分布在热中子到200MeV，通量最高 $6 \times 10^7 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 。

主要的探测器系统包括：裂变室探测器、C6D6探测器阵列、带电粒子探测器、Micromegas束流监测器等。

带电粒子探测器系统*



带电粒子探测器LPDA (Light charged Particle Detector Array) 是用来测试中子引起的出射带电粒子(主要为p、d、t、 ^3He 和 ^4He 等轻带电粒子)的数据。这些数据在以下几个方面都有重要的意义:

1、**基础研究:** 物质与中子反应截面及角分布

2、**应用研究:**

◎材料辐照损伤: 聚变堆、ADS材料等

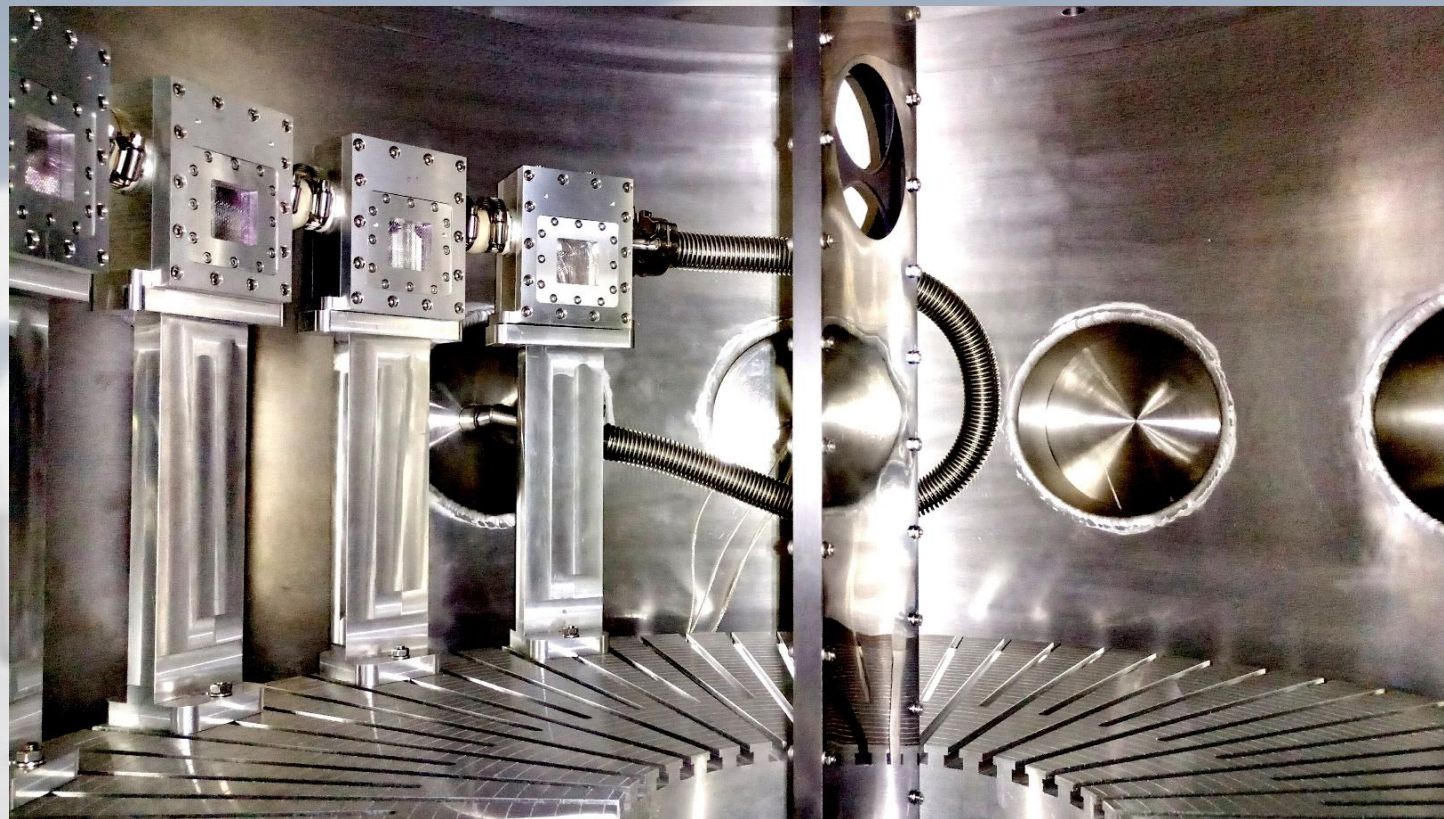
◎医疗和辐射防护方面: 快中子治癌; 空中飞行员的剂量防护

◎单粒子效应: 主要指大气层中的飞行器

◎ADS数据: 20—200MeV的中能数据最需要

探测器系统

外围系统、探测器、细节

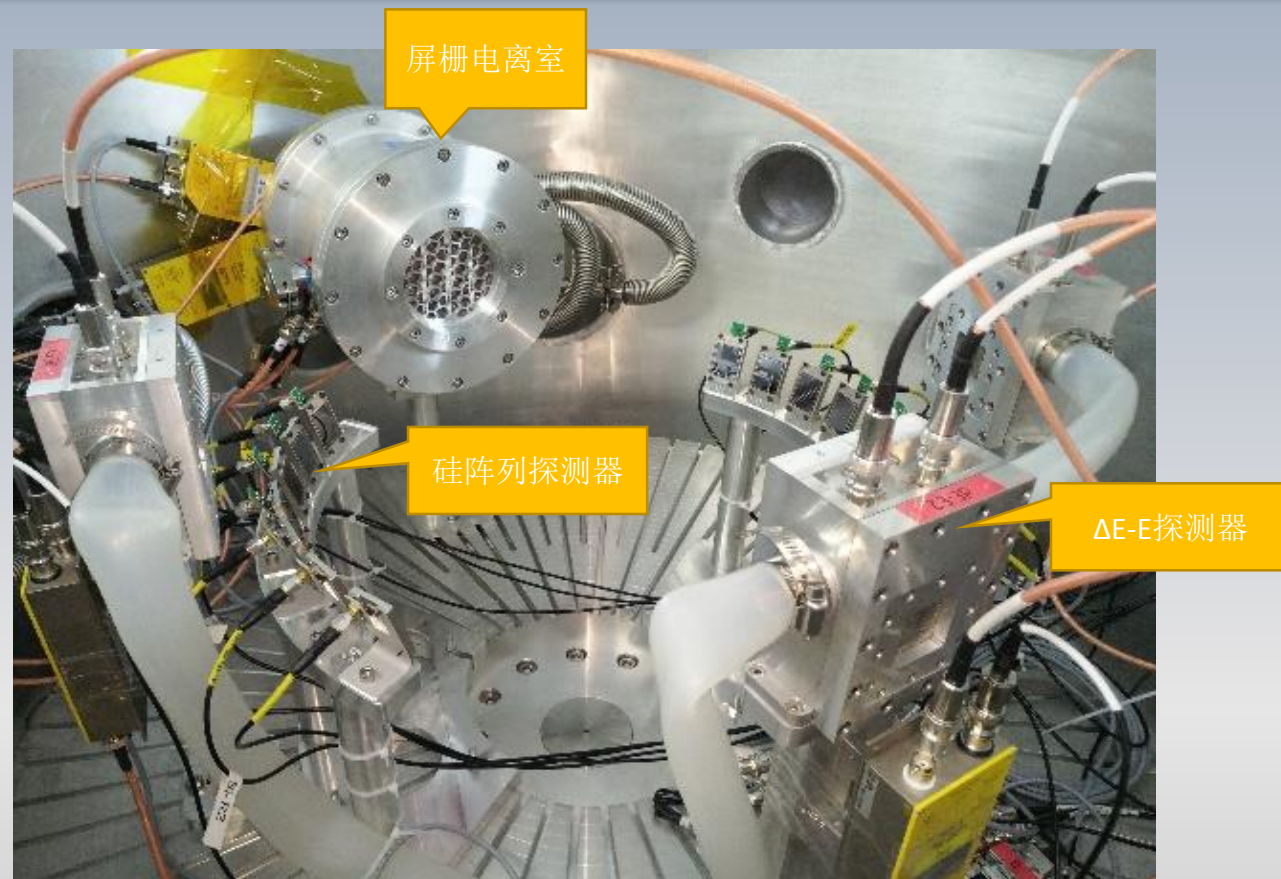


探测器系统

- 硅阵列探测器*
- 屏栅电离室 (GIC)
- ΔE -E望远镜探测器系统

带电粒子探测器要求:

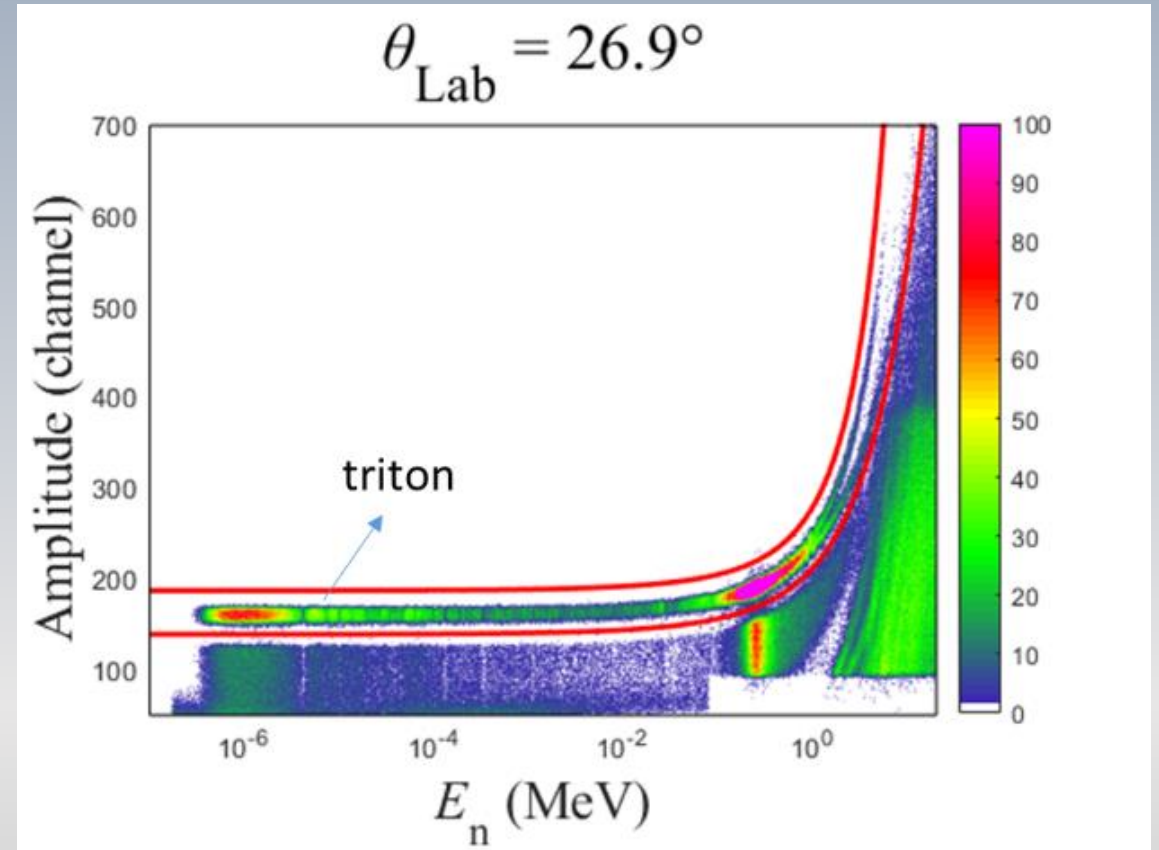
1. 甄别不同带电粒子
2. 可以得到较精确的时间以确认中子能量



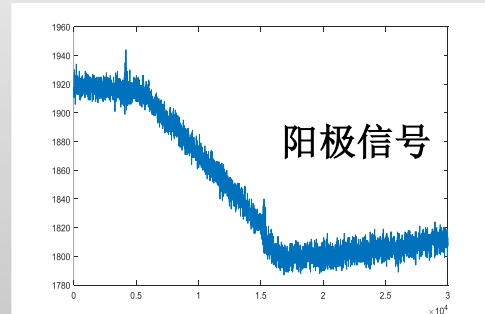
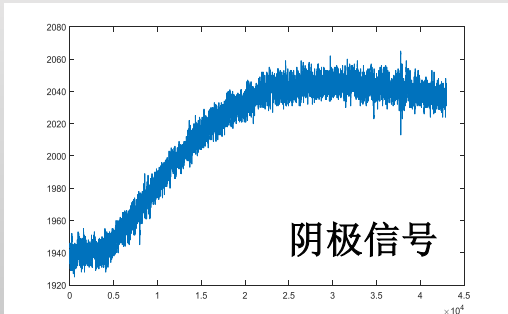
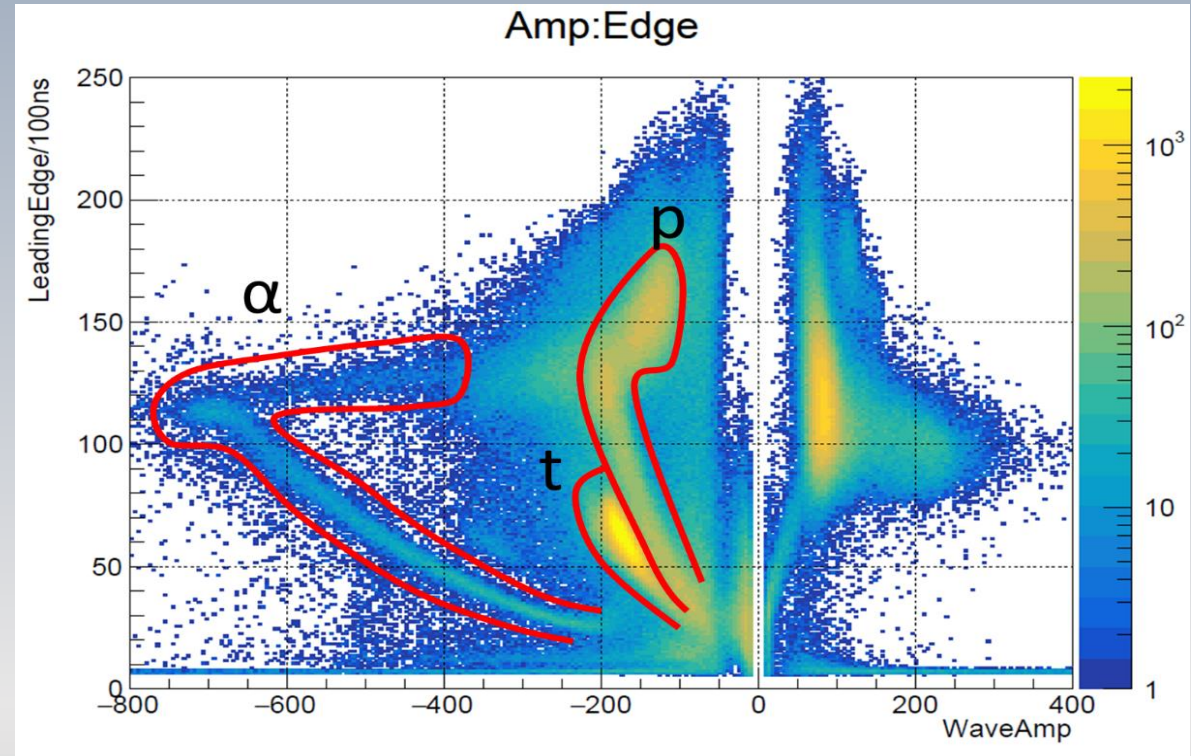
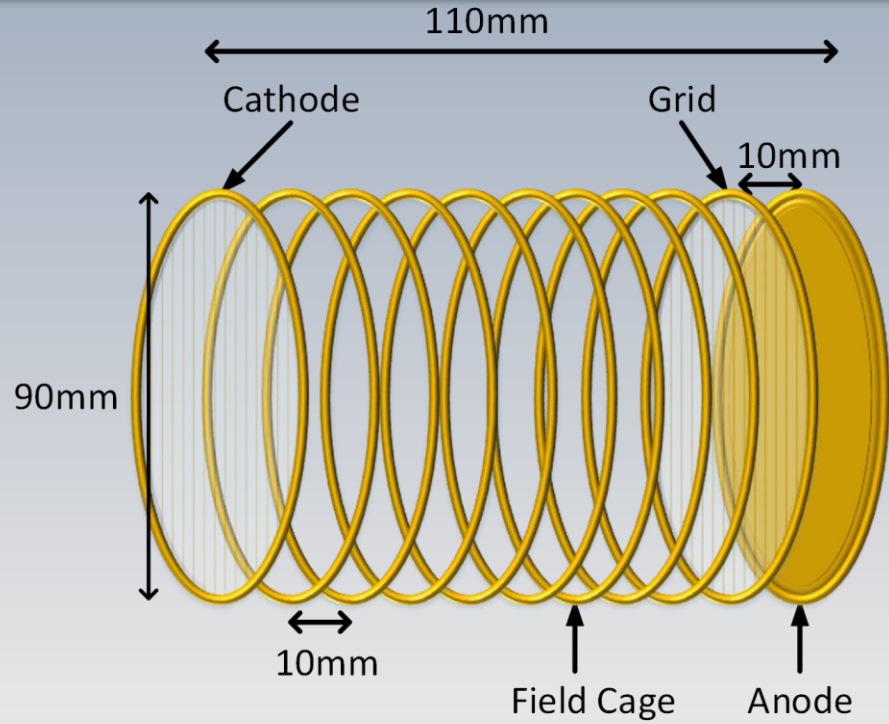
*感谢高能所粒子天体中心提供的大面积硅PIN探测器!

硅阵列探测器

- 通过飞行时间（中子能量）和硅阵列探测器的信号对粒子进行甄别
- 特点：简单
- 缺点：只针对个别靶适用
- 适合验证系统，在首批物理实验中测量了 ${}^6\text{Li}$ ， ${}^{10}\text{B}$ 截面，并取得了成功。



屏栅电离室 (GIC)

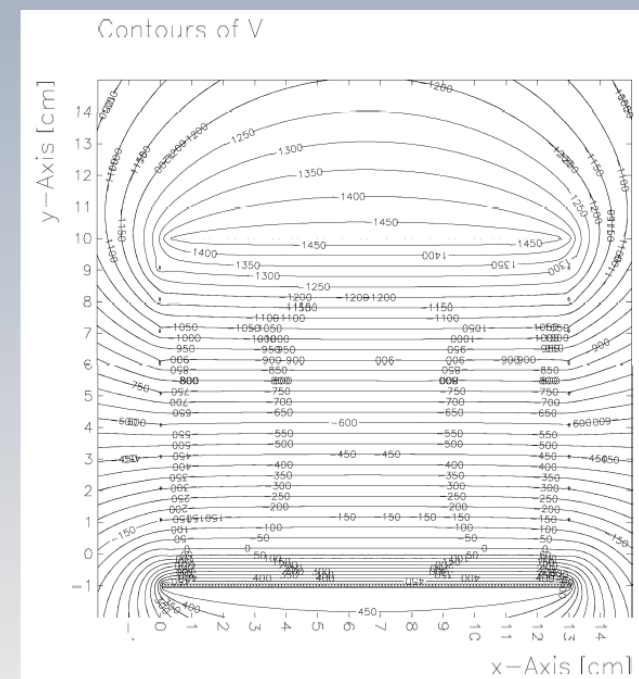
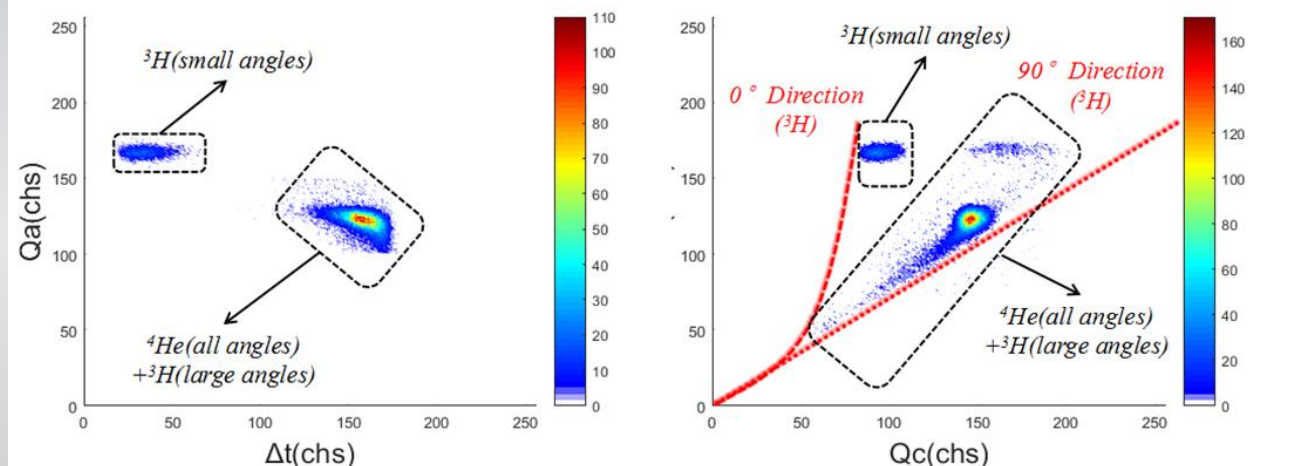
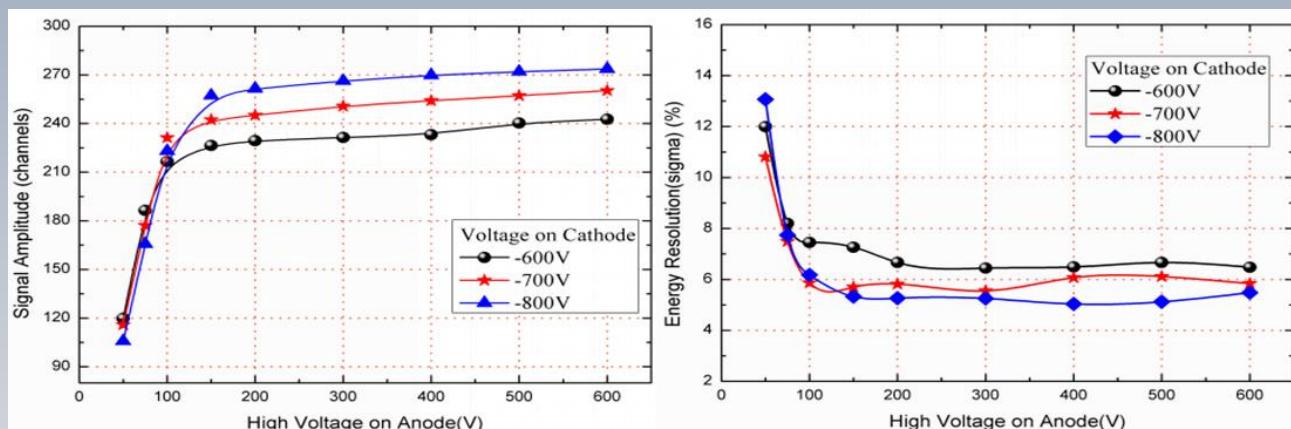


通过信号幅度和上升时间对粒子进行甄别

优点: 覆盖面积大

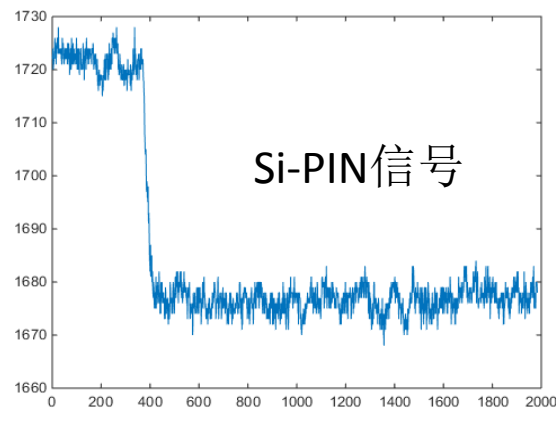
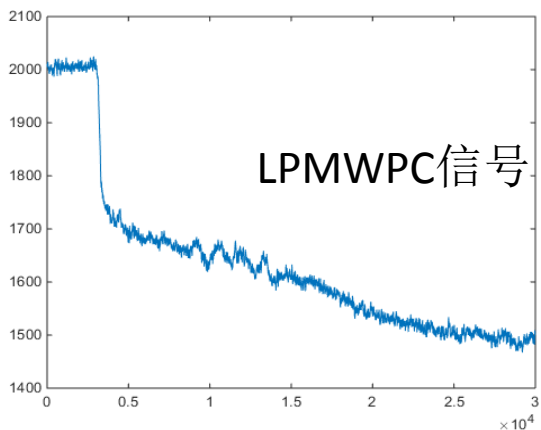
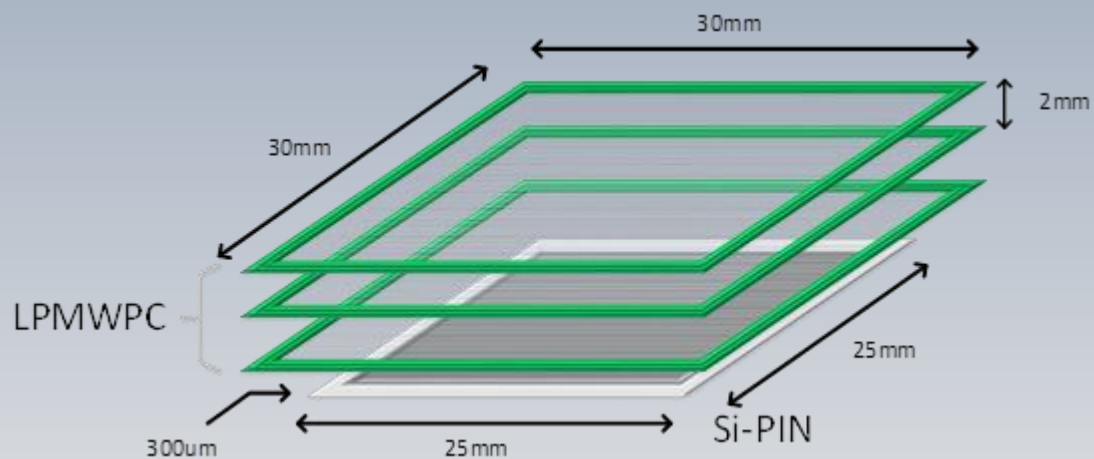
缺点: 打火, 漏气, 信号小

屏栅电离室

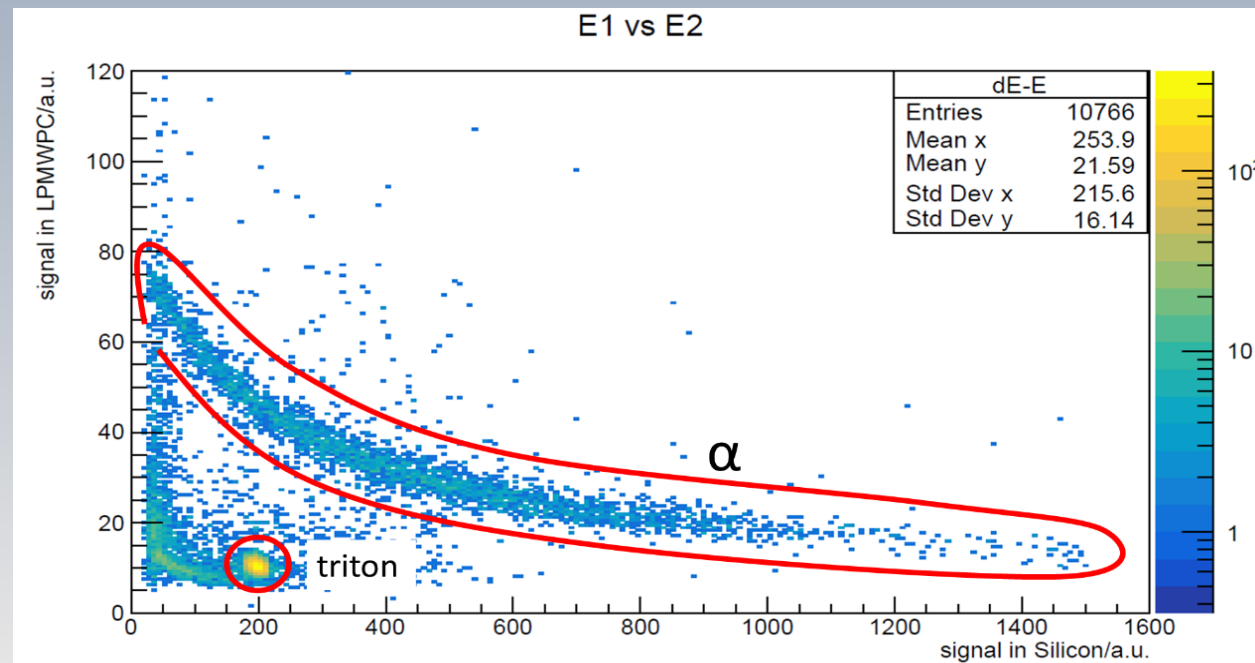


使用模拟及实验研究了GIC在不同电场配置下对信号幅度的影响。通过中子源及 ^6Li 转换膜测试了粒子分辨能力及不同的数据处理方法。

ΔE -E探测器 (LPMWPC+Si)



LPMWPC气压可以在300-1E5Pa之间调整

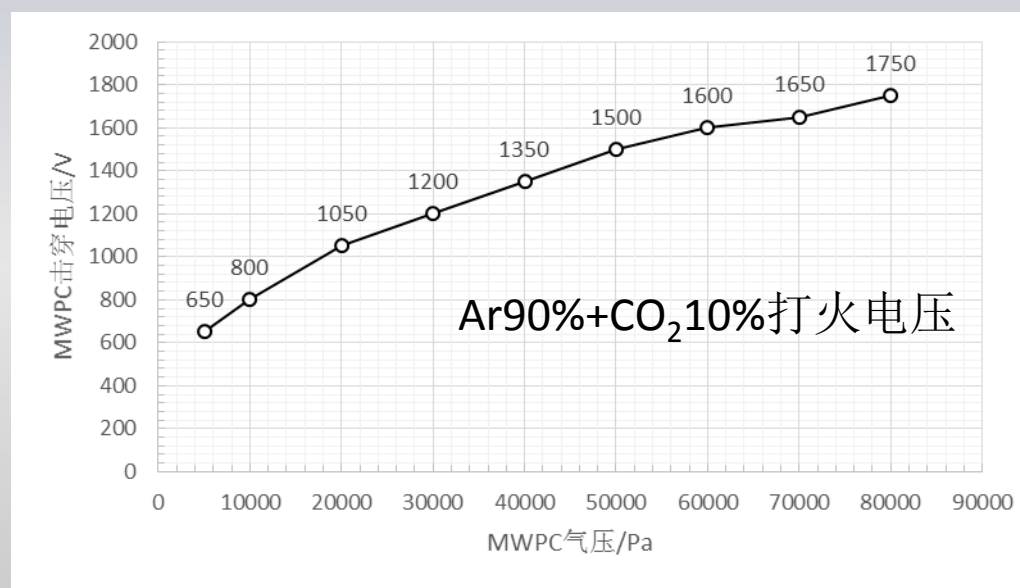
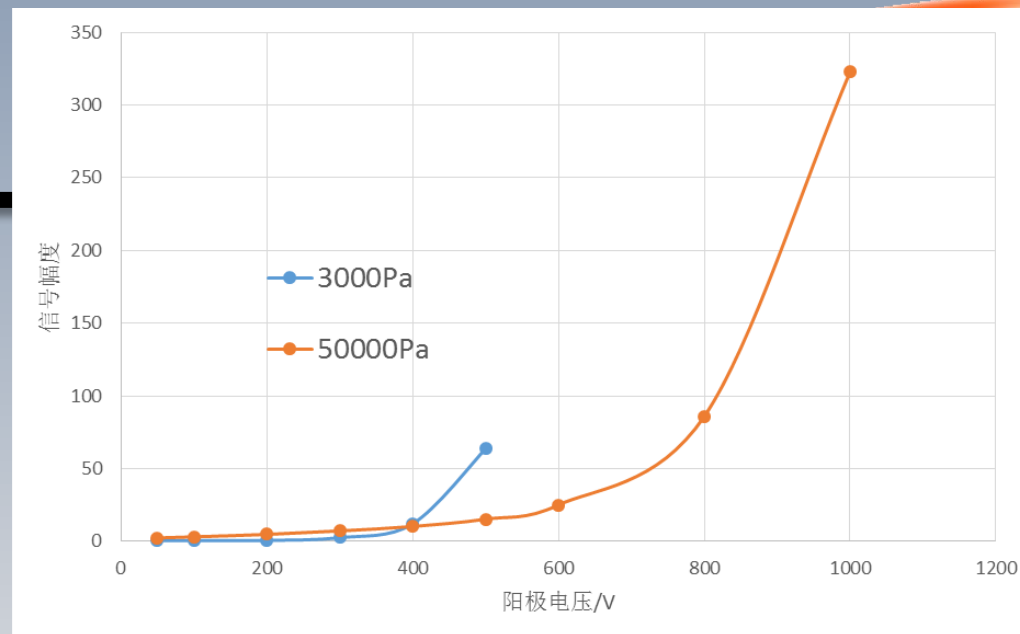
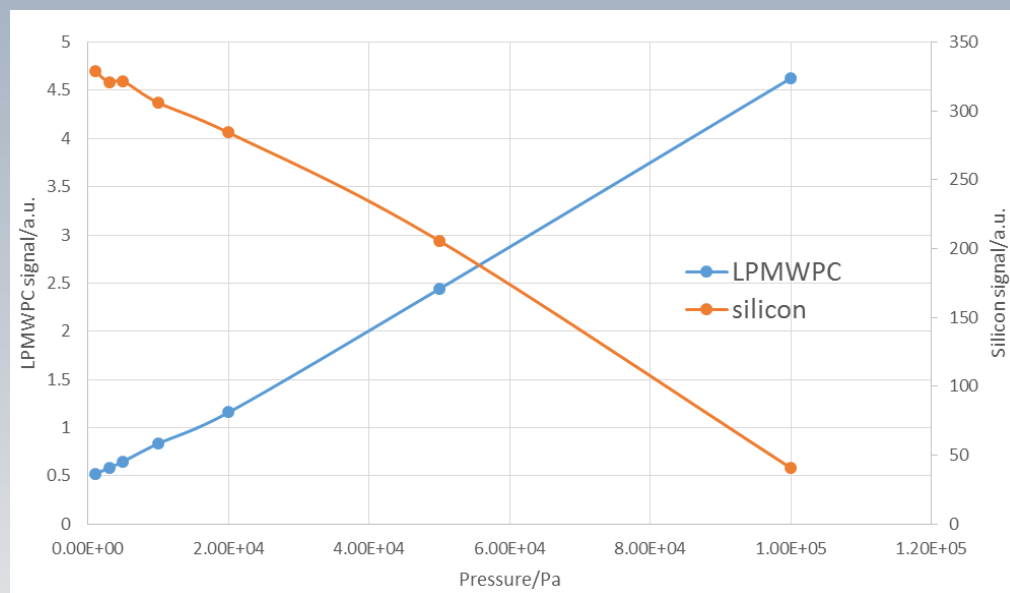


通过 ΔE -E方法鉴别粒子

优点：通用性较强

缺点：有鉴别阈值(可以适当的优化)

LPMWPC的特性



调节不同的气压值可以得到不同的第一级能量沉积，需要注意的是在不同气压下LPMWPC的工作电压区别显著

外围系统设计

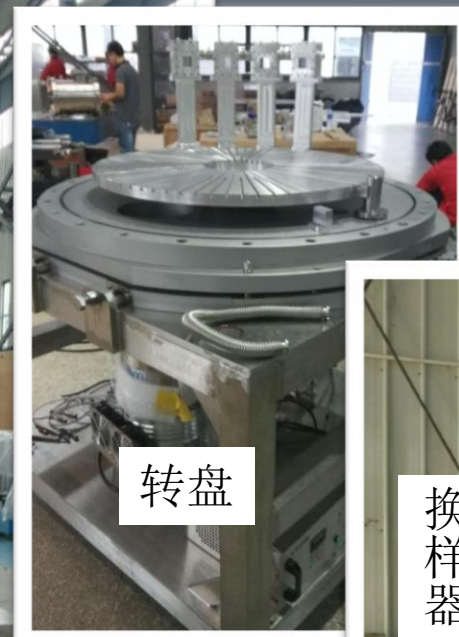
- 真空靶室及机械
- 气路系统
- 控制系统



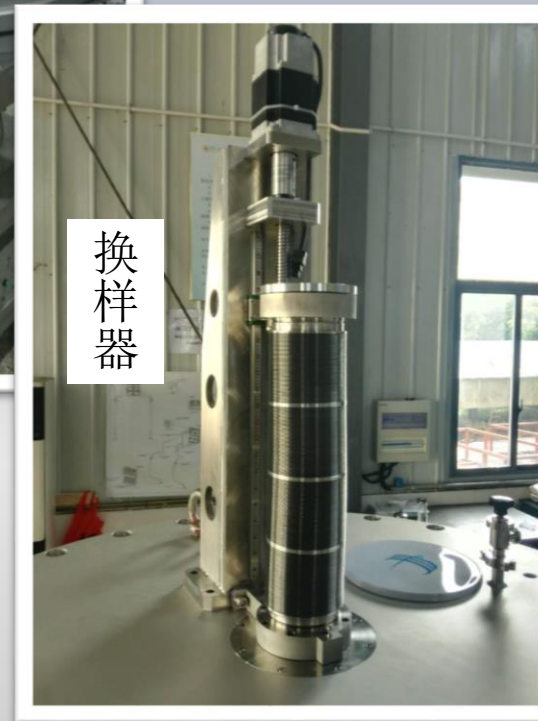
气路系统



真空靶室

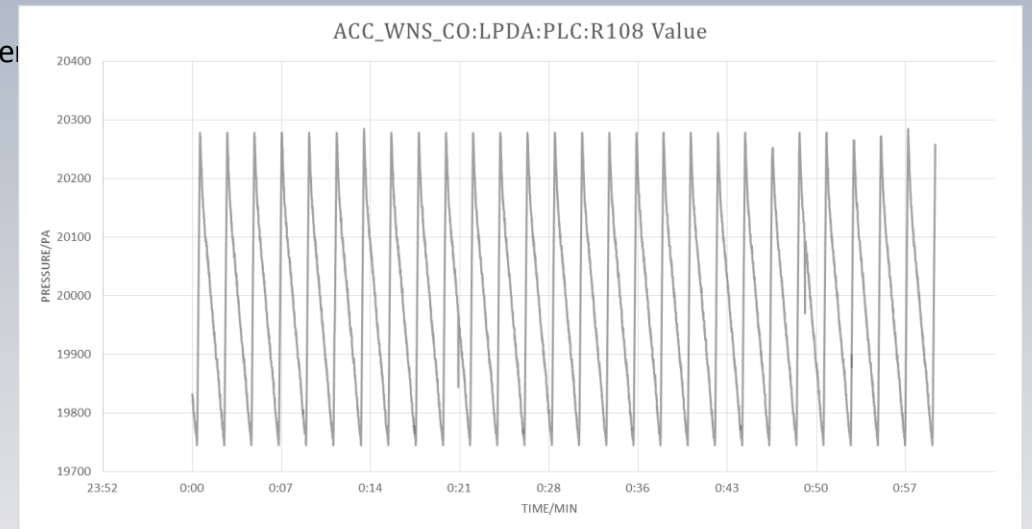
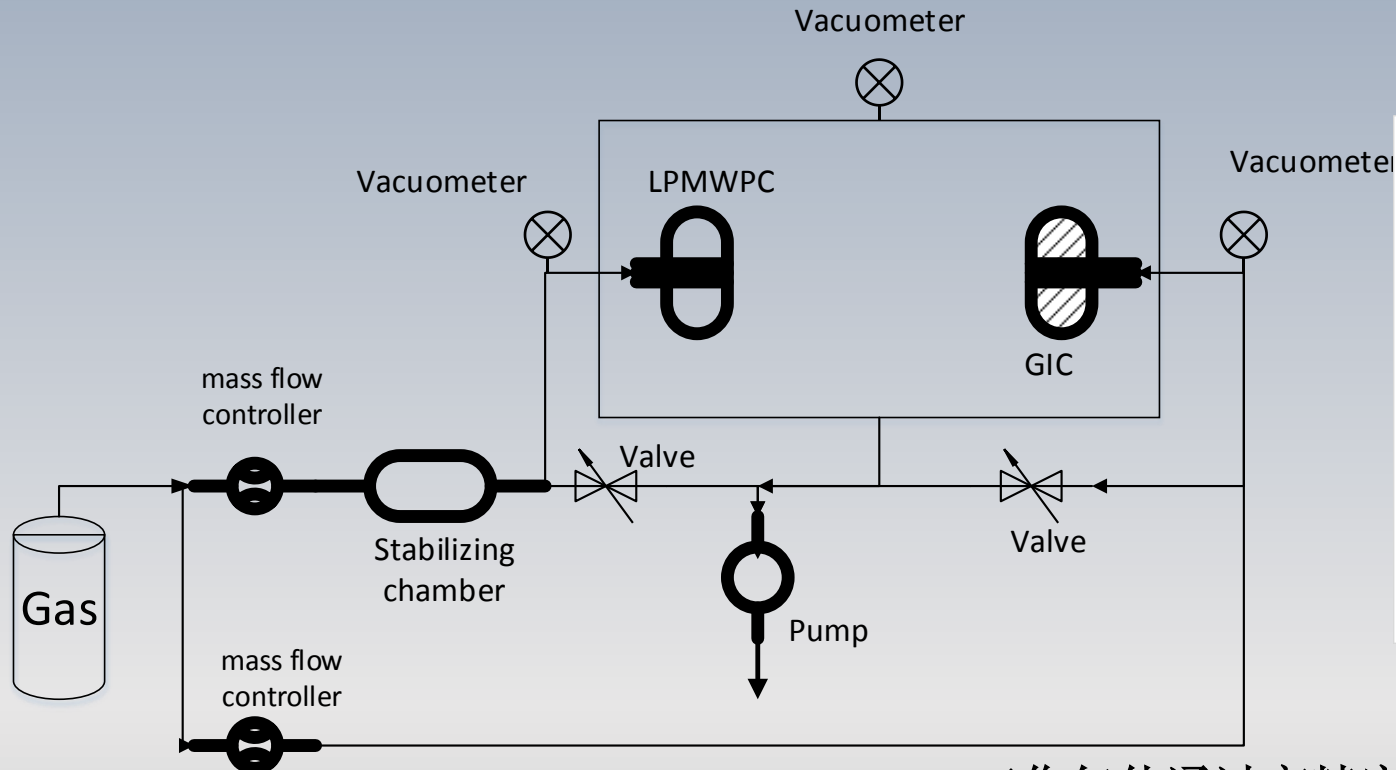


转盘



换样器

气压的动态平衡



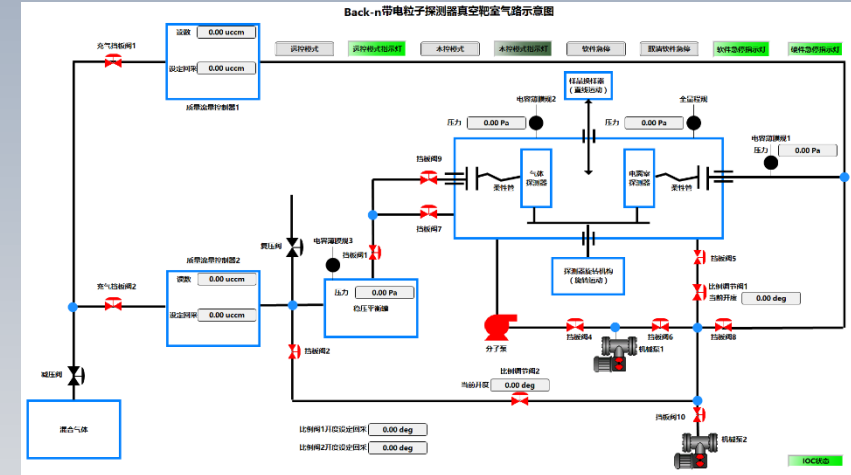
工作气体通过高精度质量流量计进入稳压平衡罐，再通过穿墙件法兰进入真空靶室内的探测器中。系统检测稳压平衡罐气压对探测器进行补气。同时通过真空靶室的气压监测调整抽气和放气速率，保证在真空靶室抽真空和破坏真空过程中探测器入射窗两端气压差在一定范围内。

控制系统



Back-n带电粒子探测器真空靶室控制系统

<p>远控模式 远控模式指示灯</p> <p>本控模式 本控模式指示灯</p> <p>软件急停 软件急停指示灯</p> <p>硬件急停 硬件急停指示灯</p>	<p>旋转盘位置控制</p> <p>电机位置: 0.00 deg</p> <p>旋转位置: 0.13 deg</p> <p>目标位置设定: 11.00 deg</p> <p>运动速度: 0.00 deg/s</p> <p>目标位置回采: 11.00 deg</p> <p>驱动器故障指示灯 亮</p>	<p>换样器位置控制</p> <p>电机位置: 121.98 mm</p> <p>运动速度: -1.00 mm/s</p> <p>刹车指示灯 亮</p> <p>驱动器故障指示灯 亮</p>
<p>定位启动</p> <p>原点回归启动</p> <p>正向点动</p> <p>反向点动</p> <p>-10°定位启动</p> <p>0°定位启动</p> <p>10°定位启动</p> <p>轴报警复位 轴报警指示灯</p>	<p>定位停止</p> <p>原点回归停止</p> <p>正向点动指示灯 亮</p> <p>反向点动指示灯 亮</p> <p>-10°运动指示灯 亮</p> <p>0°运动指示灯 亮</p> <p>10°运动指示灯 亮</p> <p>轴报警代码: 0</p>	<p>刹车松开</p> <p>刹车抱死</p> <p>目标位置设定: -1.00 mm</p> <p>目标位置回采: -1.00 mm</p> <p>定位启动</p> <p>原点回归启动</p> <p>正向点动</p> <p>反向点动</p> <p>样品1定位启动</p> <p>样品2定位启动</p> <p>样品3定位启动</p> <p>样品4定位启动</p> <p>轴报警复位 轴报警指示灯</p>
<p>样品1定位停止</p> <p>样品2定位停止</p> <p>样品3定位停止</p> <p>样品4定位停止</p> <p>轴报警代码: 0</p>	<p>样品1运动指示灯 亮</p> <p>样品2运动指示灯 亮</p> <p>样品3运动指示灯 亮</p> <p>样品4运动指示灯 亮</p> <p>轴报警代码: 0</p>	<p>样品1定位停止: 3.86 mm</p> <p>样品2定位停止: 81.86 mm</p> <p>样品3定位停止: 159.86 mm</p> <p>样品4定位停止: 237.86 mm</p> <p>轴报警代码: 0</p>
真空气路控制		
<p>电离室探测器压力: 0.00 Pa</p> <p>全量程规数值: 100739.69 Pa</p> <p>质量流量计2显示: 0.00 uccm</p> <p>抽真空启动</p> <p>电离室换气启动</p> <p>机械泵2停止工作</p> <p>挡板阀8关闭</p> <p>分子泵加速</p>	<p>气体探测器压力: 101311.70 Pa</p> <p>比例阀1开度: 0.18 deg</p> <p>电离室探测器换气次数: 0 time</p> <p>抽真空中止</p> <p>电离室换气中止</p> <p>挡板阀1关闭</p> <p>挡板阀2关闭</p> <p>挡板阀3关闭</p> <p>挡板阀4关闭</p> <p>挡板阀5关闭</p> <p>挡板阀6关闭</p> <p>挡板阀7关闭</p> <p>挡板阀9关闭</p> <p>挡板阀10关闭</p> <p>挡板阀11关闭</p> <p>分子泵正常 亮</p>	<p>真空腔体压力: 100885.06 Pa</p> <p>比例阀2开度: 0.14 deg</p> <p>气体探测器换气次数: 3 time</p> <p>探测器换气启动</p> <p>探测器换气停止</p> <p>泵组开启</p> <p>泵组停止</p> <p>充气阀1关闭</p> <p>充气阀2关闭</p> <p>阀门操作界面</p> <p>参数设置界面</p>
<p>复压中止指示灯 亮</p> <p>气体探测器换气中 亮</p> <p>分子泵停止工作 亮</p> <p>挡板阀6关闭 亮</p> <p>机械泵1正常 亮</p> <p>打开气路示意图 亮</p>	<p>复压完成指示灯 亮</p> <p>气体探测器换气完成 亮</p> <p>机械泵1停止工作 亮</p> <p>挡板阀7关闭 亮</p> <p>机械泵2正常 亮</p> <p>IOC状态 亮</p>	<p>质量流量计1显示: 0.00 uccm</p> <p>复压中止指示灯 亮</p> <p>复压完成指示灯 亮</p> <p>气体探测器换气中 亮</p> <p>分子泵停止工作 亮</p> <p>挡板阀6关闭 亮</p> <p>机械泵1正常 亮</p> <p>机械泵2正常 亮</p> <p>挡板阀7关闭 亮</p> <p>机械泵2正常 亮</p> <p>挡板阀8关闭 亮</p> <p>挡板阀9关闭 亮</p> <p>挡板阀10关闭 亮</p> <p>挡板阀11关闭 亮</p> <p>分子泵正常 亮</p>



- 带电粒子探测器真空靶室远程控制系统的OPI使用Control System Studio BOY开发，共包含各类控件约748个。
- 主界面上汇总了旋转盘位置控制、换样器位置控制和真空气路控制的主要状态和操作控件，方便值班人员在控制室实现远程监视和控制。
- 通过真空靶室气路示意图界面可以更直观地了解整个真空气路的实时状态。

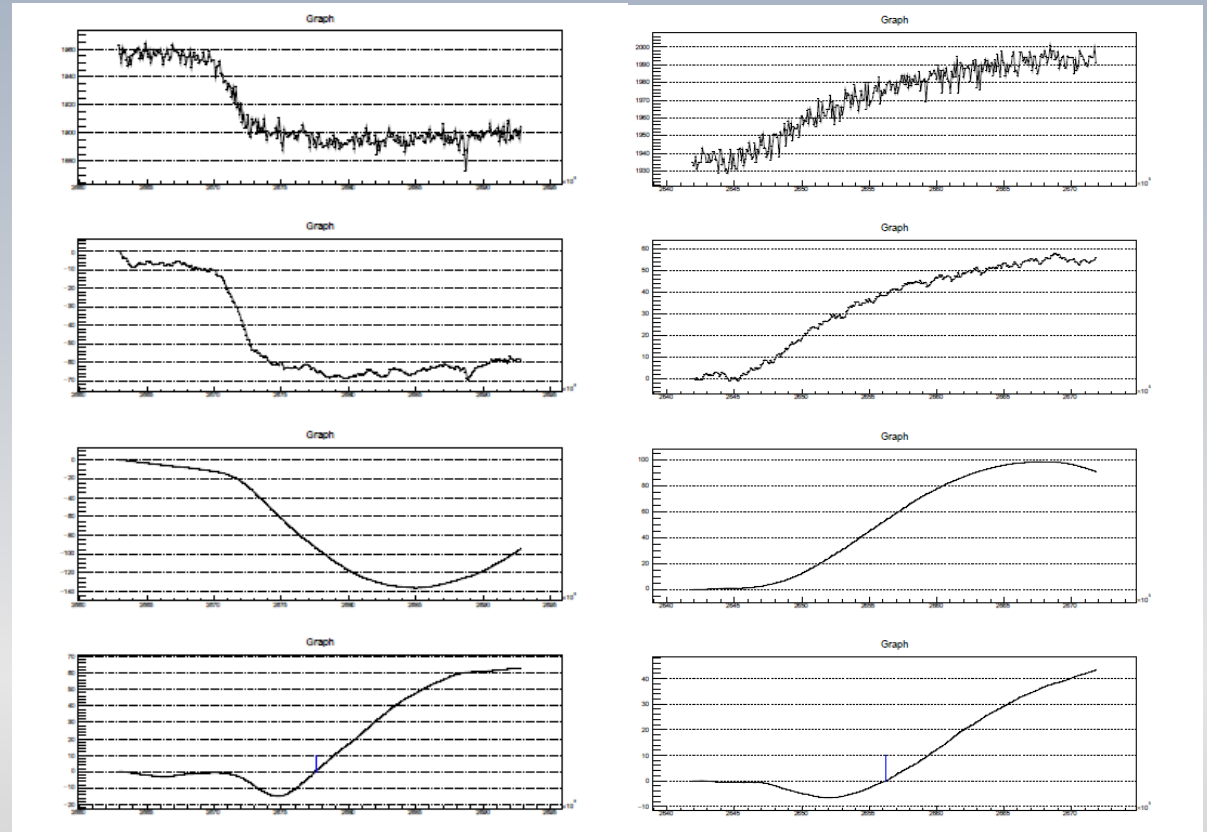
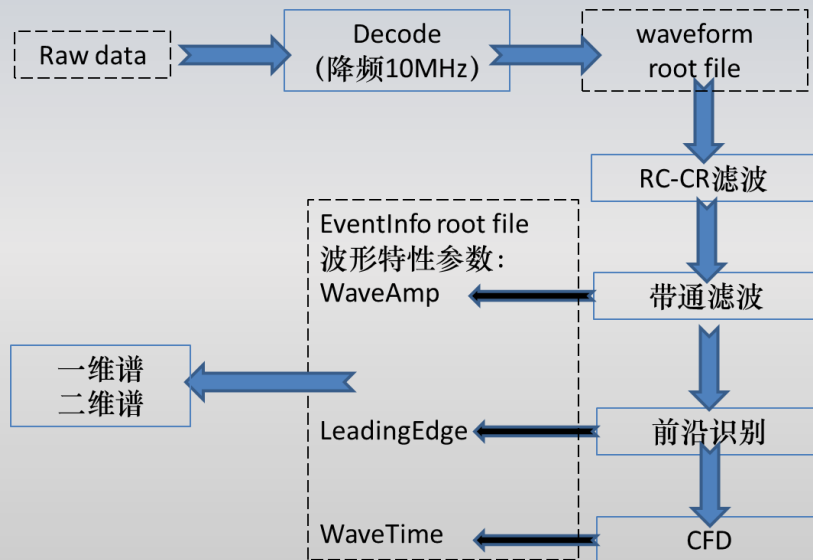
物理实验及结果

${}^6\text{Li}$ 及质子反冲

数据获取及处理举例 (GIC)



- 电荷灵敏前置放大器直接进入波形采样共用电子学系统 (24通道1 G12-bit by USTC)
- 波形通过数字方法滤波并取得Q, T等信息。

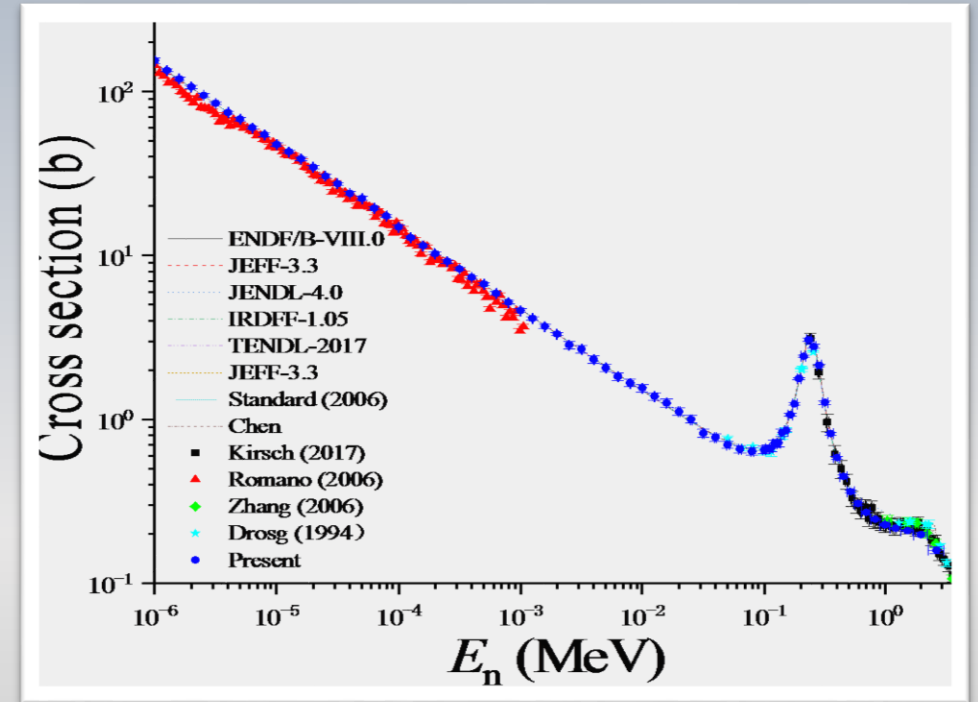
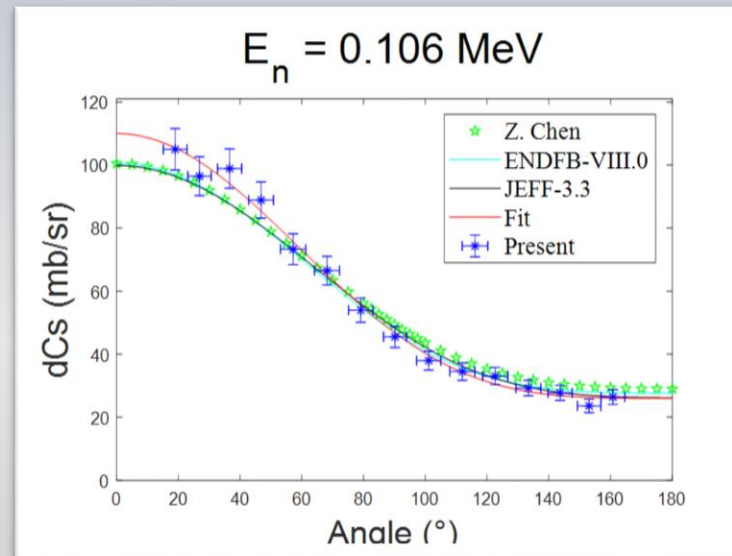


屏栅电离室数据分析流程

首批物理实验结果

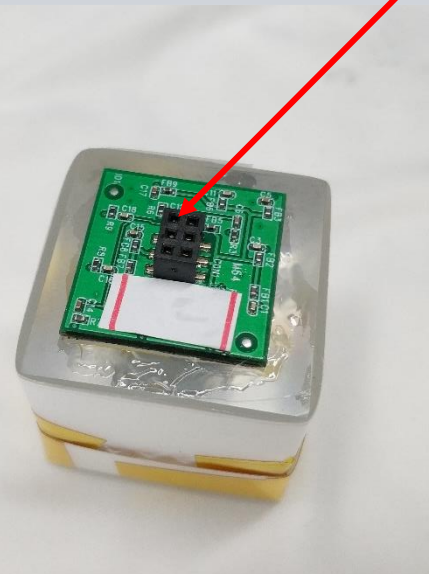
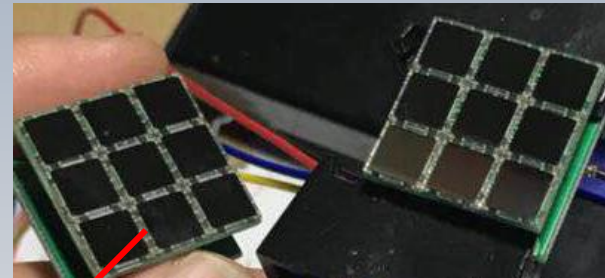
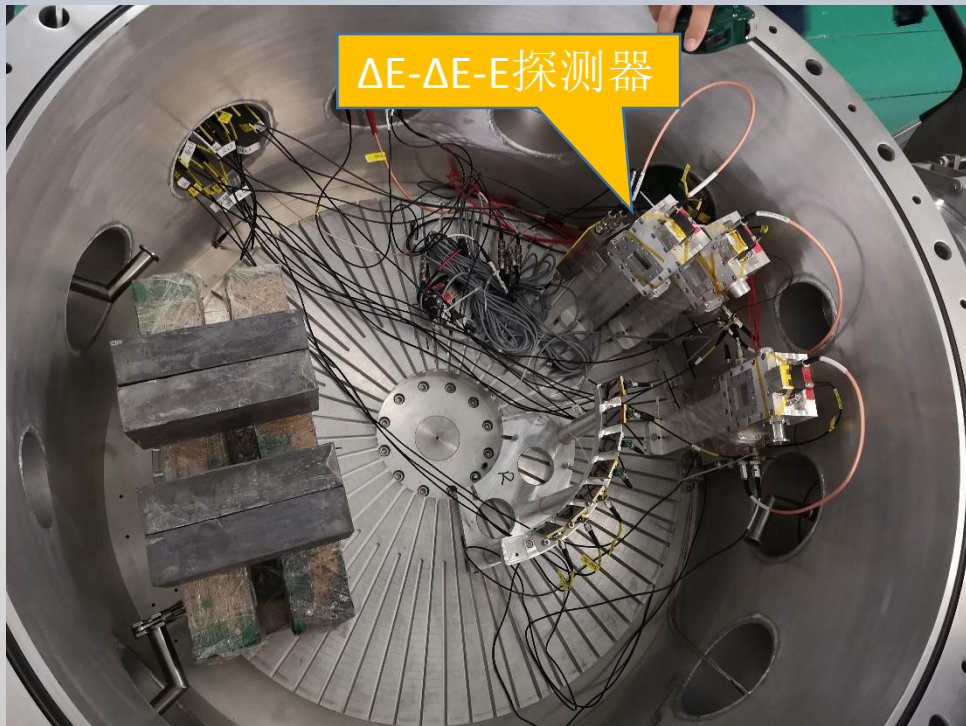
- ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$ 于2018年7月完成了实验
- 得到了77个能点微分截面（国际首次）
- 积分截面与标准界面符合

另一个 ${}^{10}\text{B}$ 实验也在2018年10月7日已经完成，正在处理数据。
张国辉教授团队（北京大学）



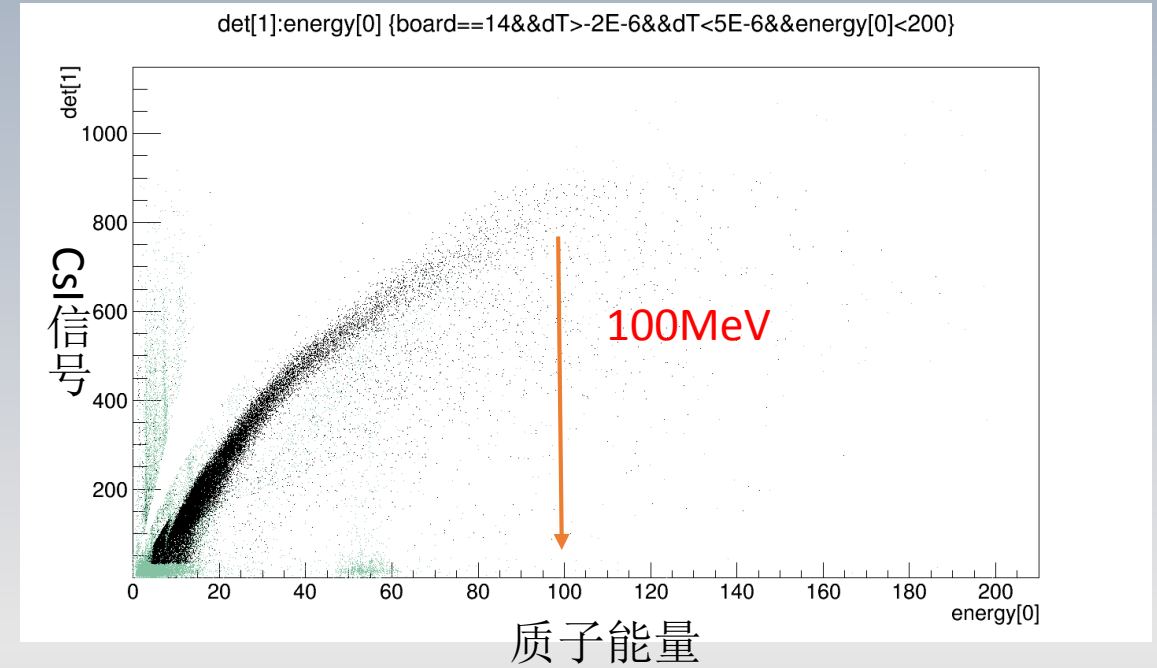
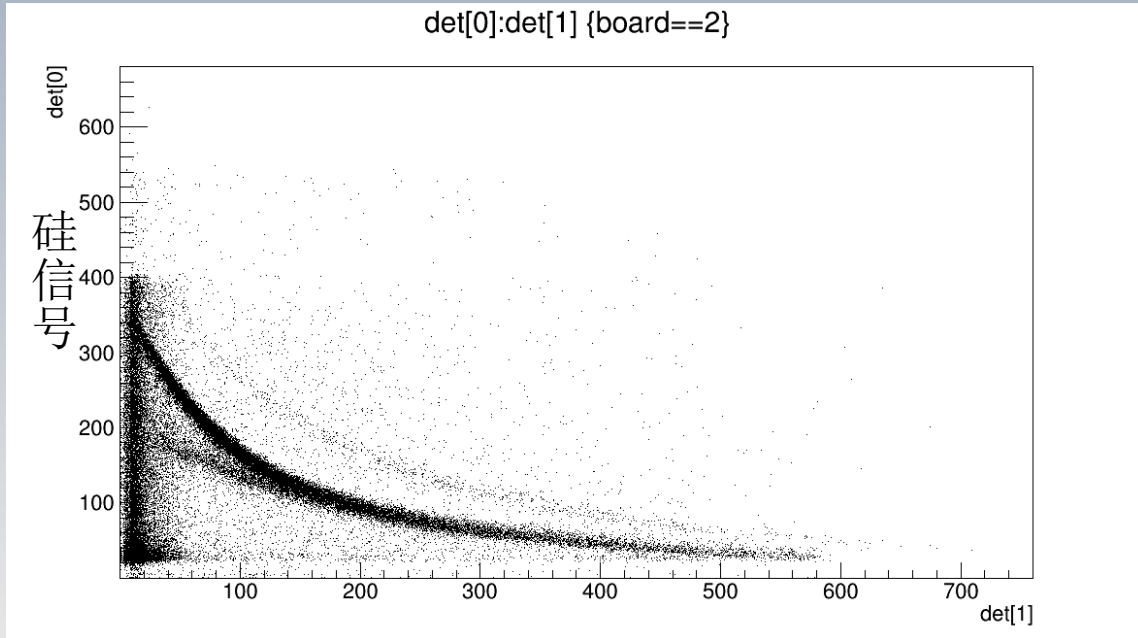
ΔE -E探测器升级（10月11日）

- 增加碘化铯晶体升级至三级 ΔE - ΔE -E探测器
- 质子测量能区扩展到100MeV
- 使用聚乙烯作为靶材料（n, p）



- 6mm*6mm 9块 3*3拼接 35um pixel
单个6mm有效面积的sipm微单元数是18980个
- 包裹: 使用ESR膜包裹四周
6um 双面镀铝PET膜做入射窗
Teflon膜作为SiPM周围包裹材料

中高能质子测量



可以通过 ΔE - E 谱得到质子事件，通过中子飞行时间换算相应反冲质子能量。测试结果显示，探测器测量的质子能区覆盖100MeV。显示白光中子源可以进行探测器对不同能量质子响应标定。

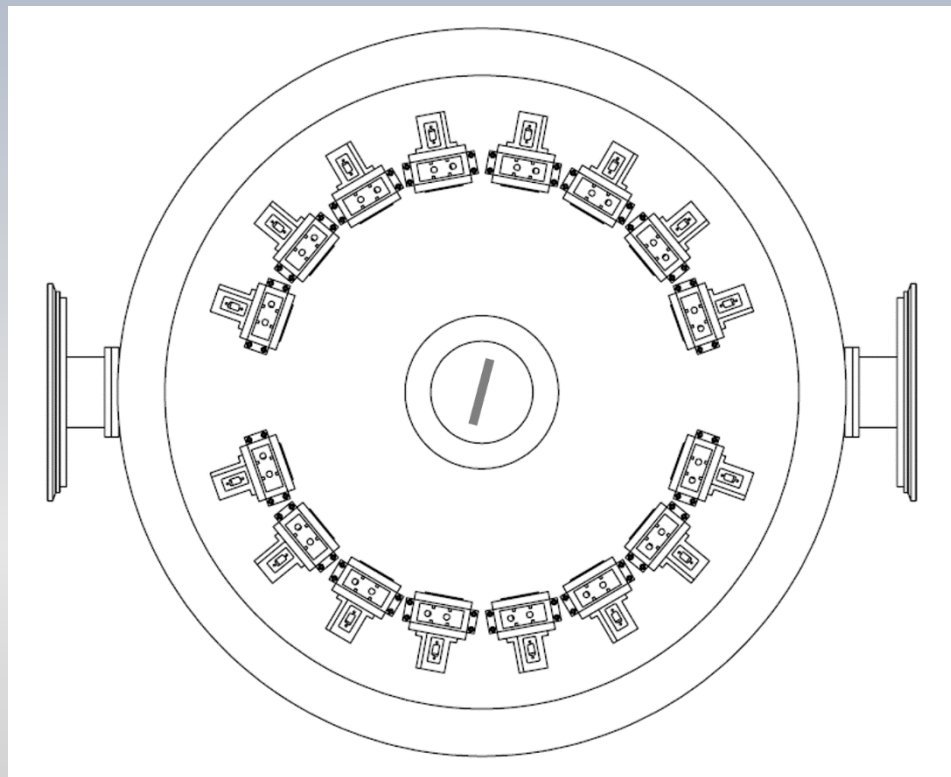
总结

带电粒子探测器系统已经成功的运用于白光中子源上核数据测量物理实验并取得了相应的物理结果。

通过白光中子源验证了探测器对不同能量质子的响应。

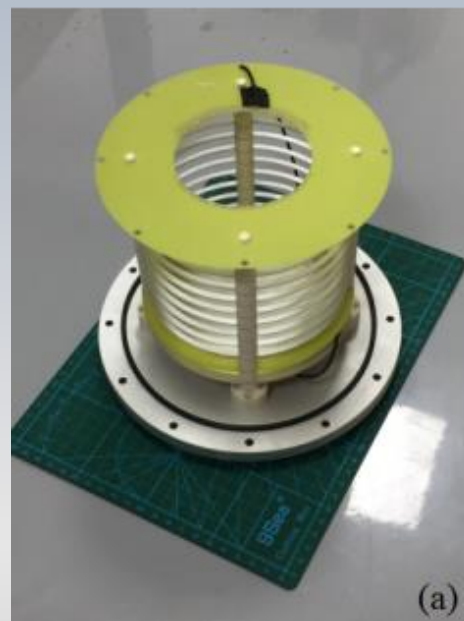
未来计划

16套望远镜系统

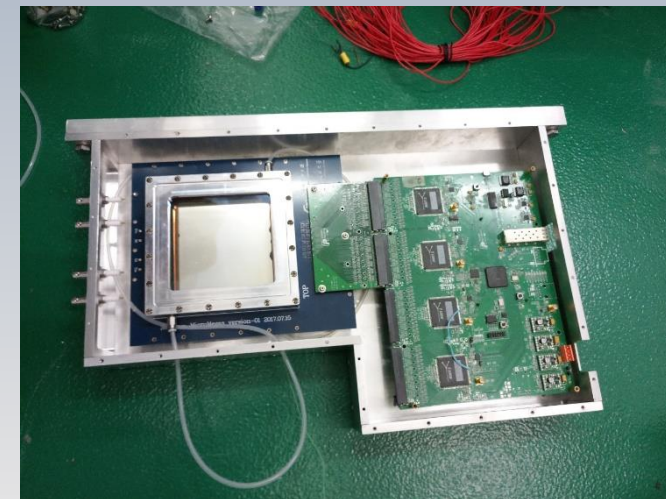


16套 ΔE -E望远镜阵列

带电粒子TPC方案



屏栅电离室升级为TPC



Micromegas探测器

初步计划以屏栅电离室和
Micromegas为原型制作
1500路读出小型TPC

The background features a large, light-colored, semi-transparent logo. It consists of a stylized 'n' inside a circle, connected by a horizontal line to a larger, rounded shape. Below this, the text 'BNC-N' is written in a large, bold, sans-serif font, and 'CSNS-WHITE NEUTRON SOURCE' is written in a smaller font below it.

感谢聆听！

感谢LPDA课题组的共同努力！