

Back-n 多用途时间投影室

MTPC实验研究团队

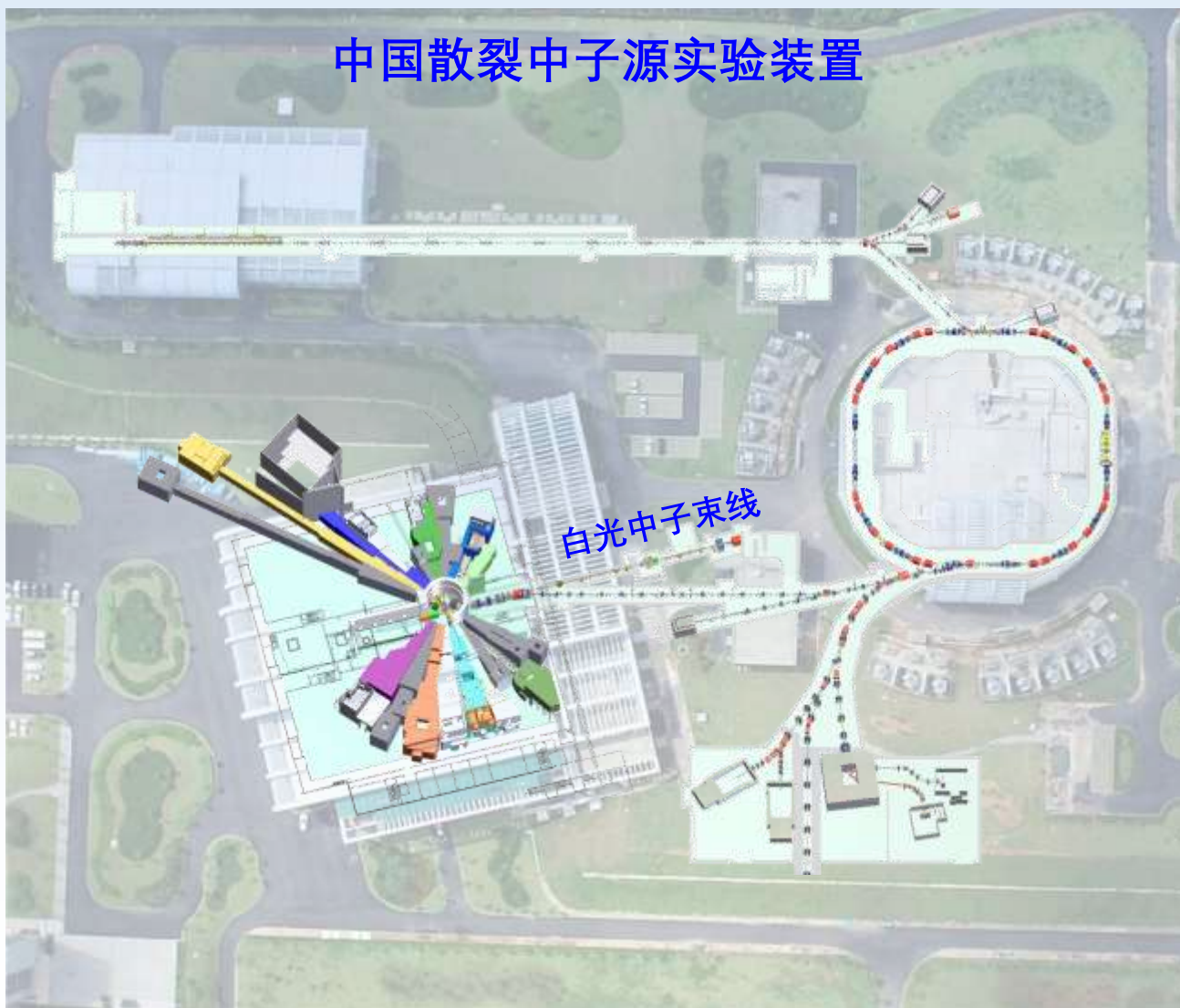
报告人：吕游

2023年7月10日

报告概要

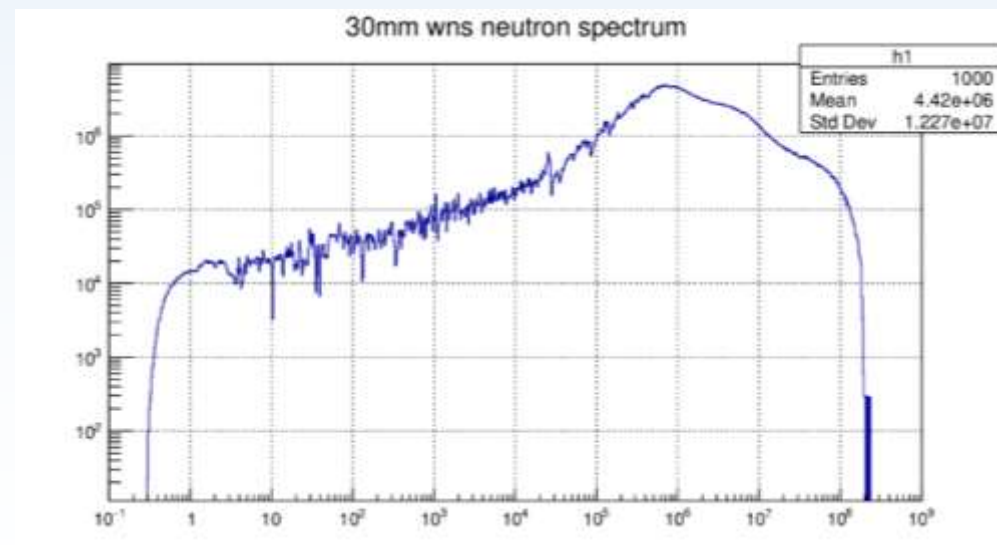
- ◆ MTPC实验装置
- ◆ 性能模拟研究
- ◆ 实验研究
- ◆ 总结

反角白光中子束线



Back-n不同准直器模式下的中子流强 @100 kW

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

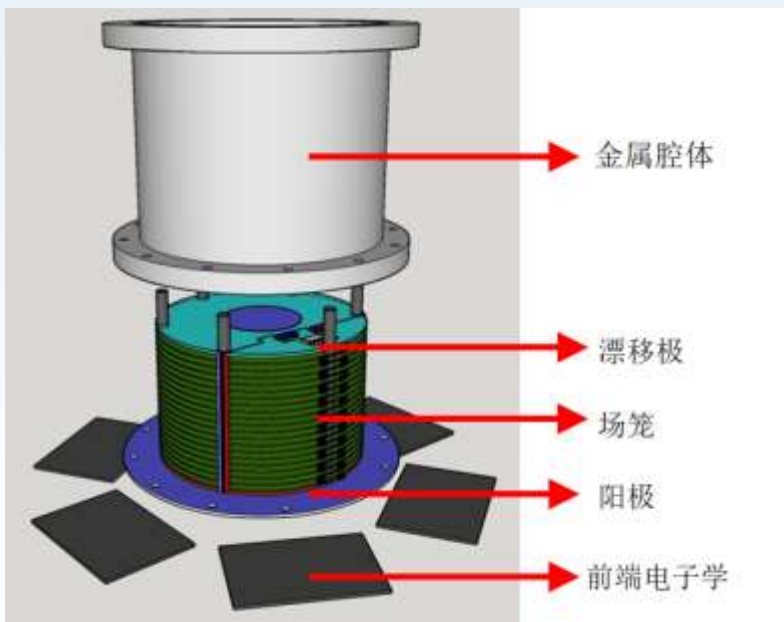


反角白光中子能谱

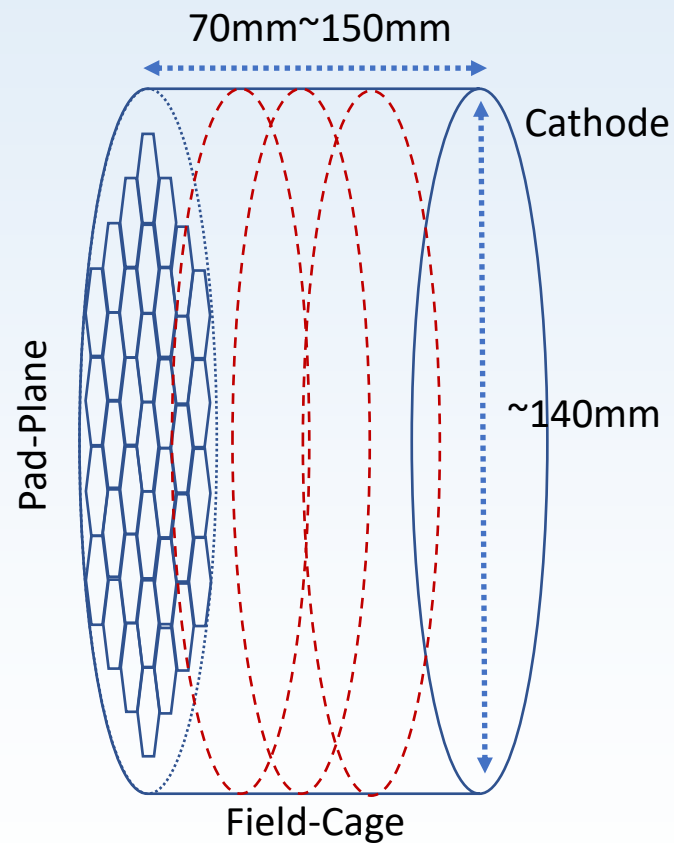
MTPC实验装置

◆ MTPC：一台主要针对轻带电粒子测量的多用途TPC（Multi-purpose TPC）

- 径迹测量、能量测量、粒子鉴别
- 大立体角覆盖、能量探测阈值低
- 粒子甄别与复杂反应道甄别

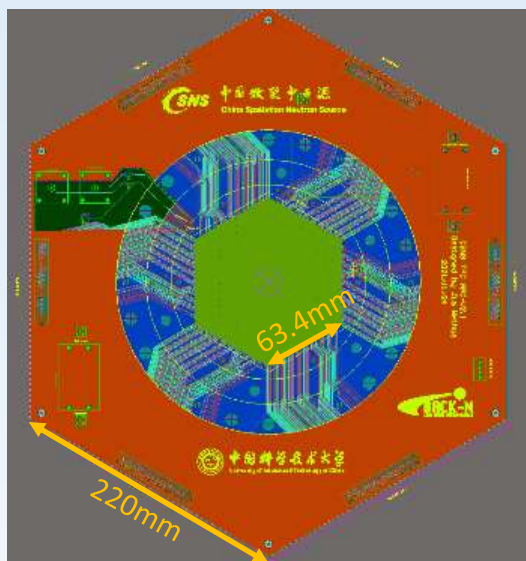
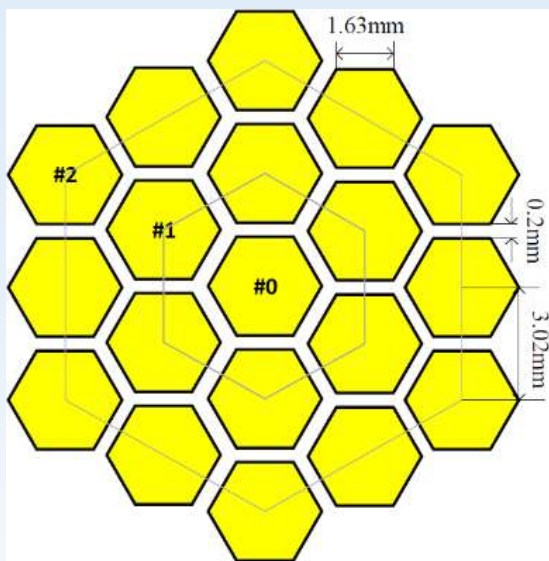


MTPC机械设计简图

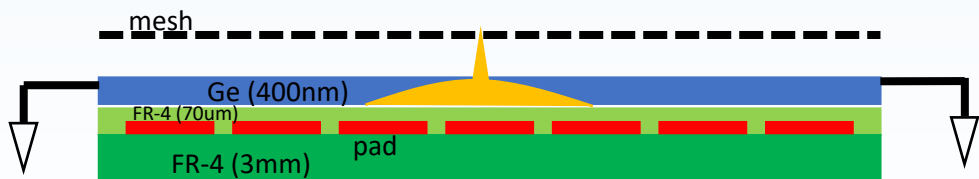


MTPC结构示意图

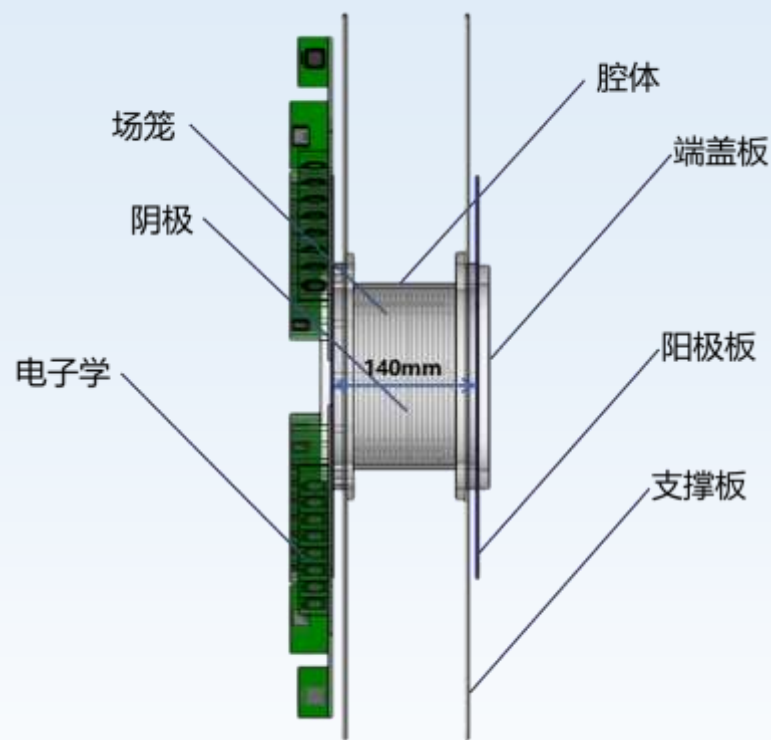
MTPC读出探测器



阳极读出区域为六边形pad密堆结构，共1519个pad



Micromegas作为探测器的雪崩放大结构

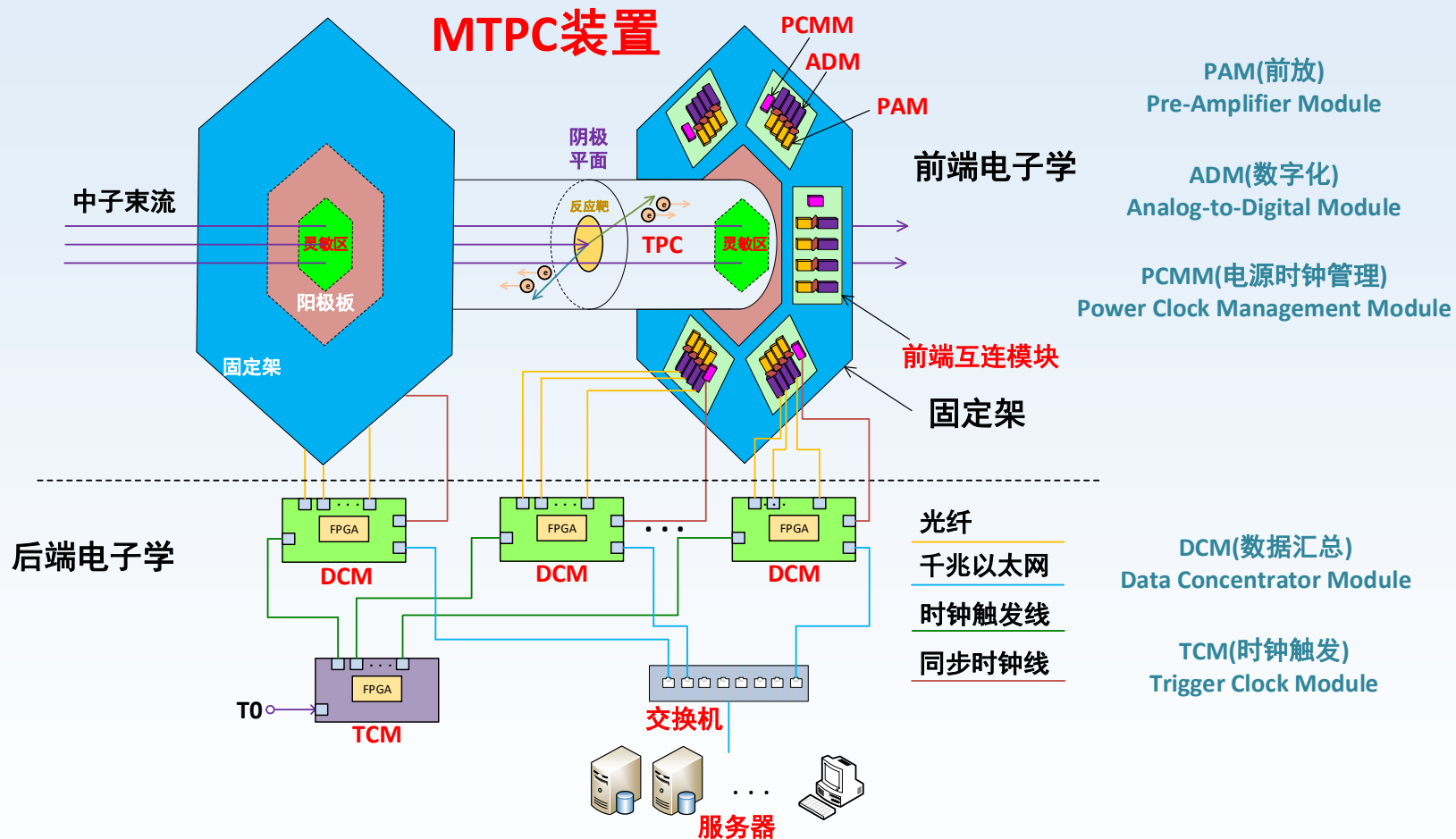


- 场笼均压环采用PCB制作，间隔5mm，设计分压电阻焊接PCB，用于均压环之间连接
- 腔体承受气压范围0~5bar，主体为钛合金结构，入射窗为100um钛合金窗

读出电子学

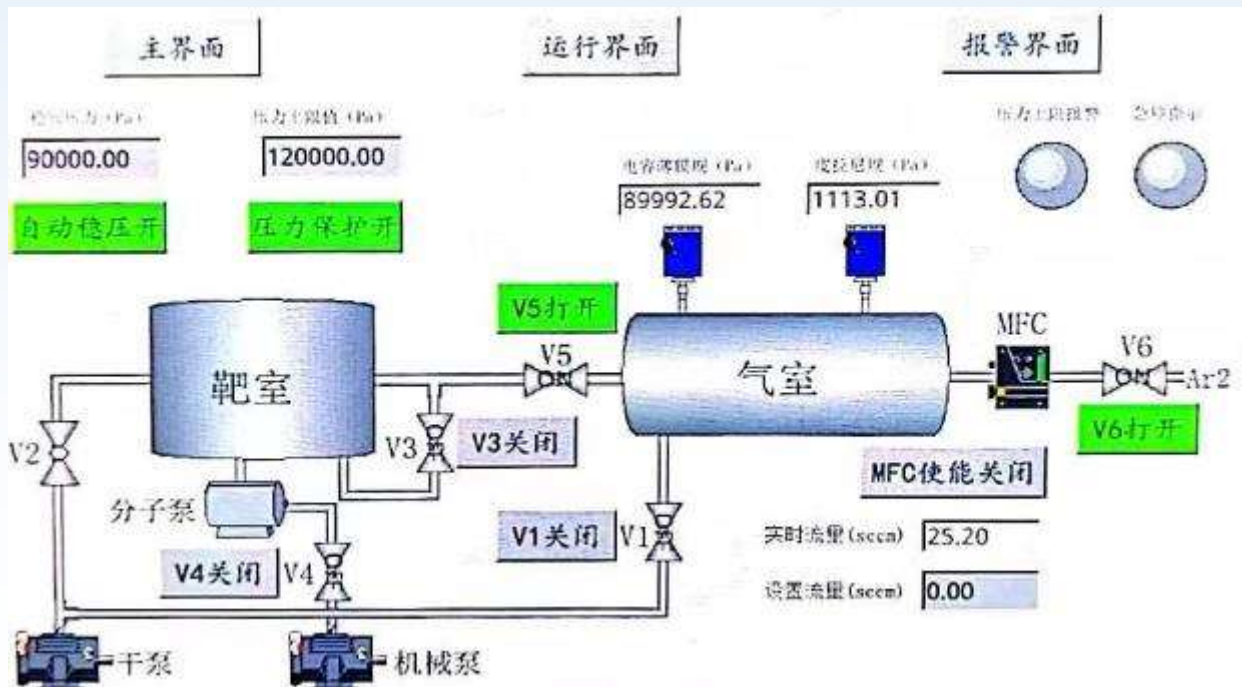
◆主要参数:

- 共1536通道 (TPC使用1521通道)
- 波形采样频率: 40MHz
- 触发采样窗宽度: 1024采样点
- ADC位数: 12bit

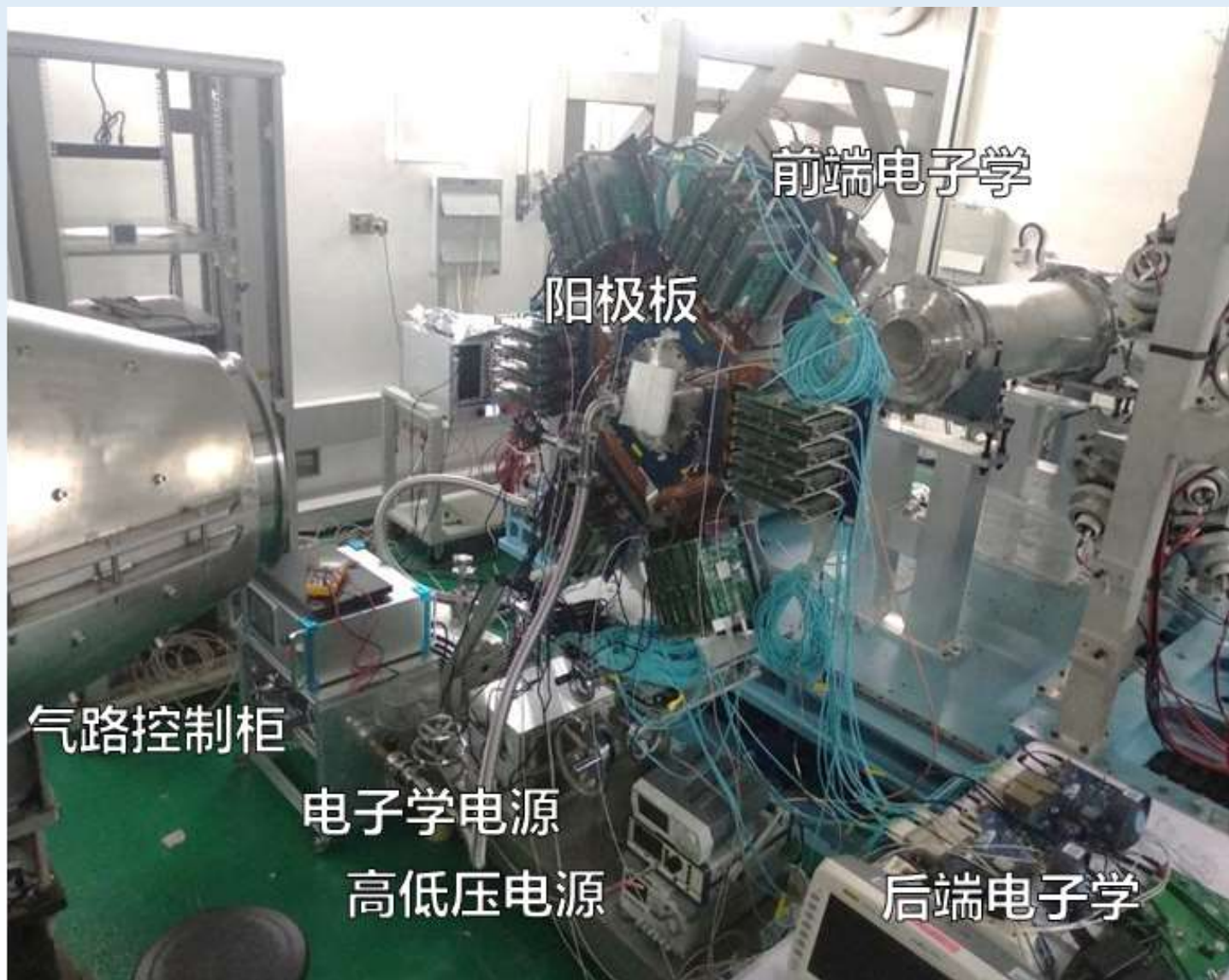


气路系统

- 可设定气压值，通过针阀和流量计自动稳压
- 混气仪可根据流量控制配比不同组分的工作气体
- 探测器气体流量通过针阀进行调节
- 控制机柜接入白光束线控制系统，可远程进行压力调节



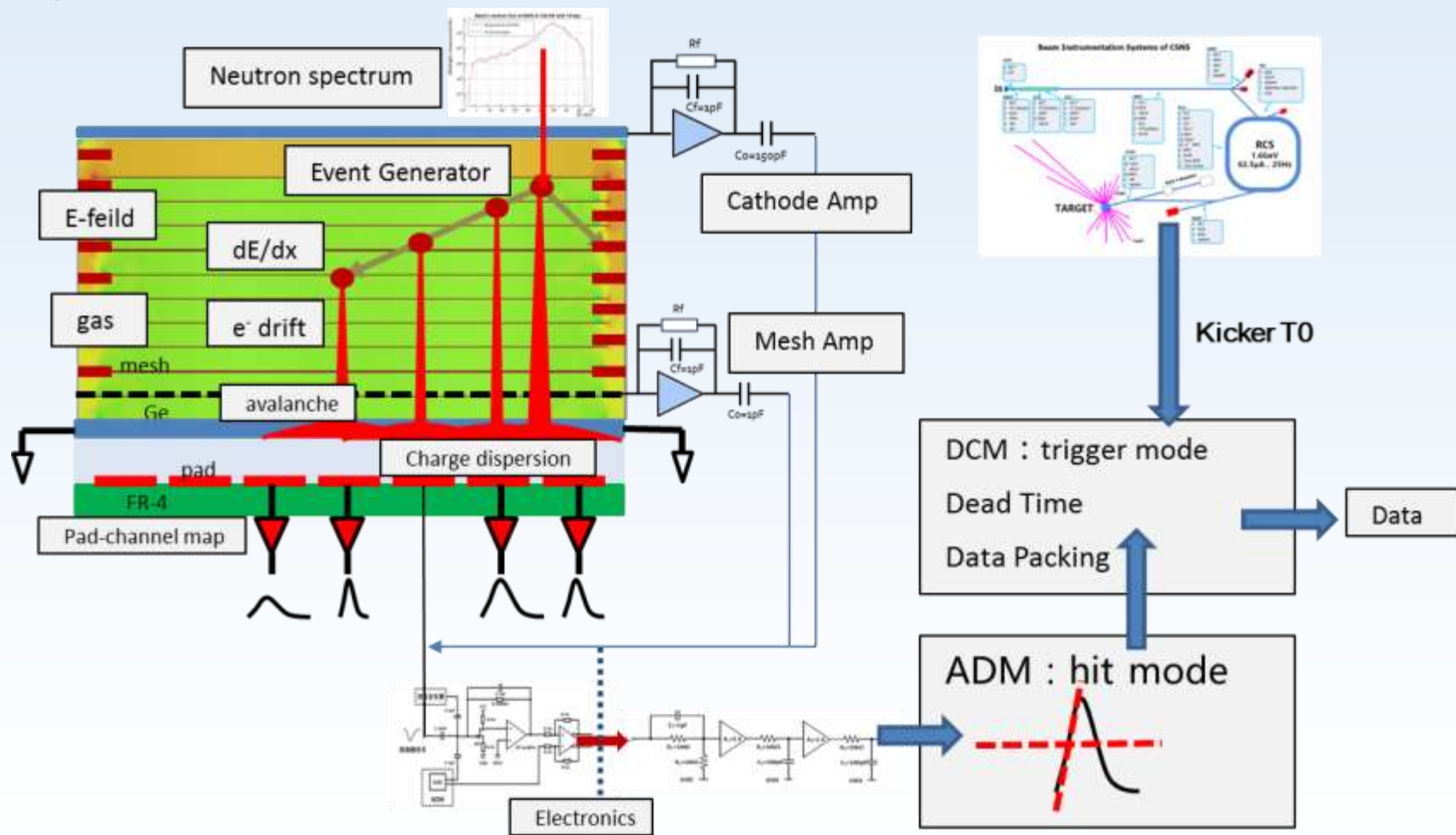
探测器系统



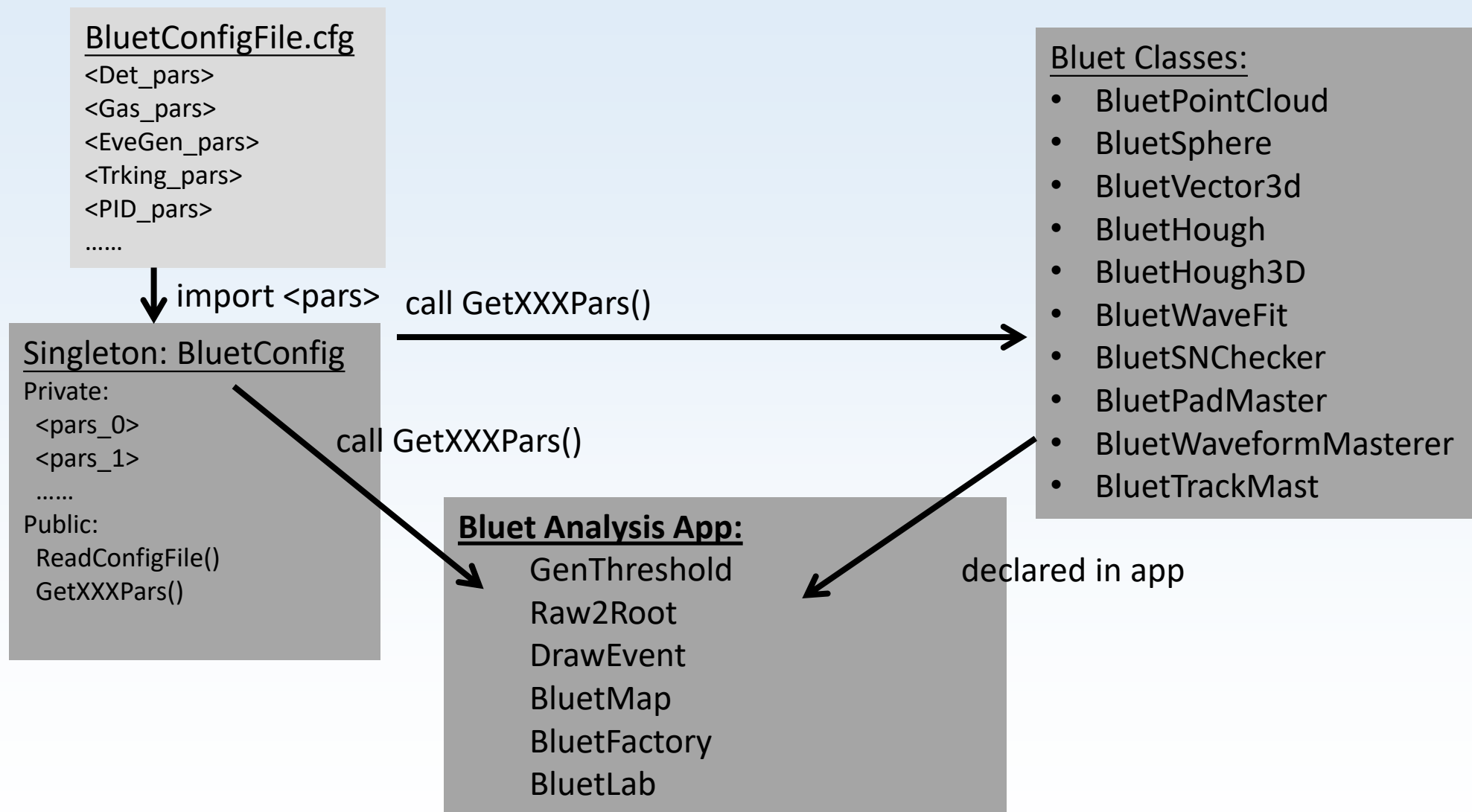
软件模拟框架

- 模拟程序框架包含所有的物理和电荷过程

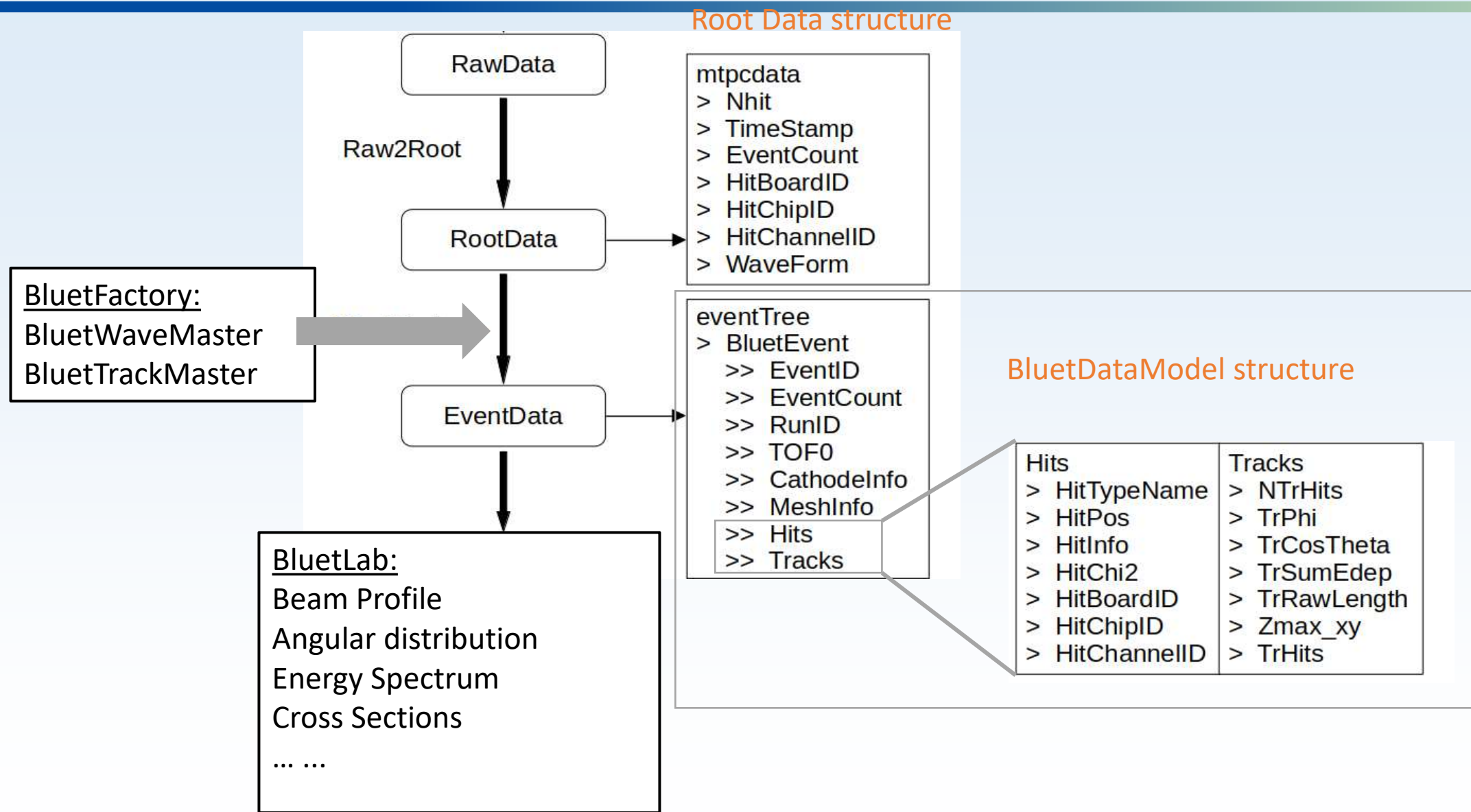
- ✓ 气体参数
- ✓ 中子能谱
- ✓ 事例产生器
- ✓ 电离过程
- ✓ 电子漂移
- ✓ 电子雪崩
- ✓ 电荷扩散
- ✓ 电子学模型
- ✓ 阴极和mesh波形
- ✓ Hit与Trigger



数据分析框架



数据分析流程与数据结构



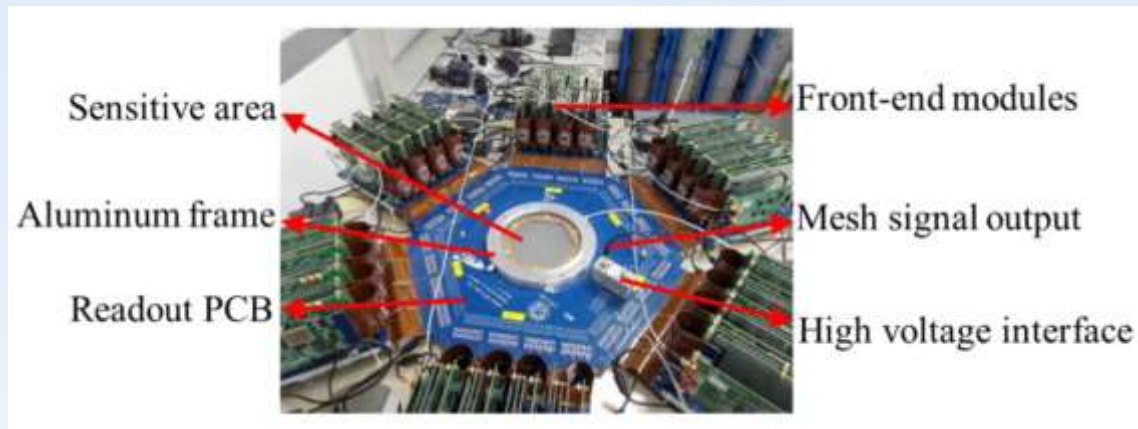
X射线源测试

◆ 实验设置

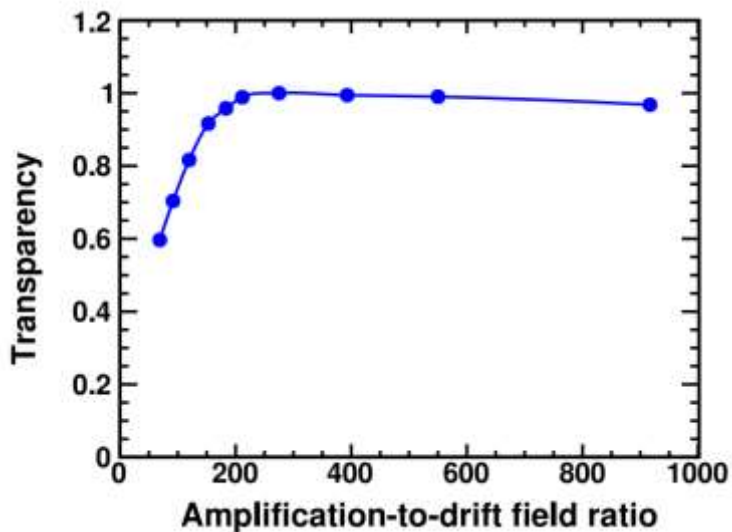
- 工作气体: Ar/CO₂(93/7), Ar/CH₄(90/10)
- 漂移区气隙: 5mm
- 放射源: ⁵⁵Fe @5.5keV X-ray

◆ 实验结果

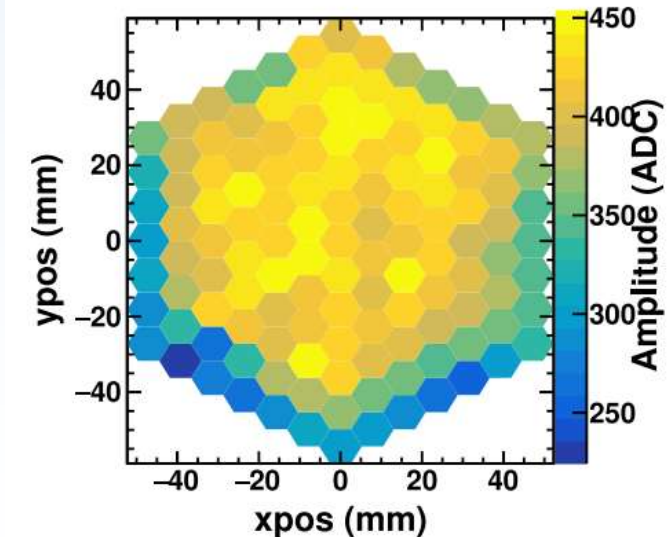
- 能量分辨率: 31% @5.9keV
- 增益均匀性: ~13%
- 放大气隙厚度及均匀性: 95 μm@2.8%(RMS/Mean)



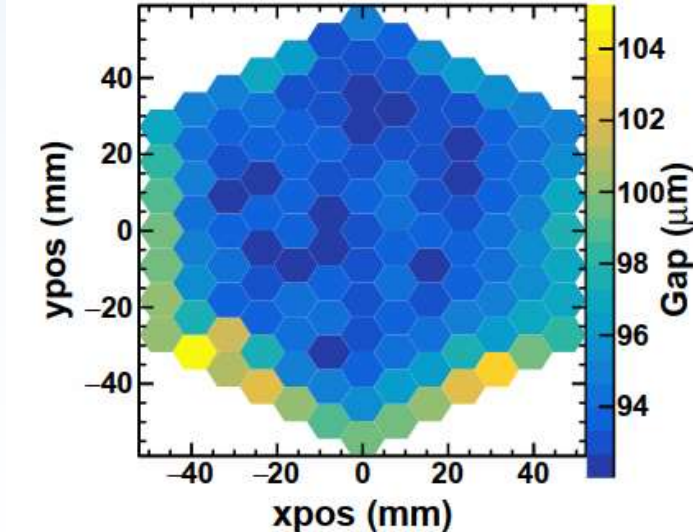
电子透过率



增益均匀性



雪崩放大气隙均匀性



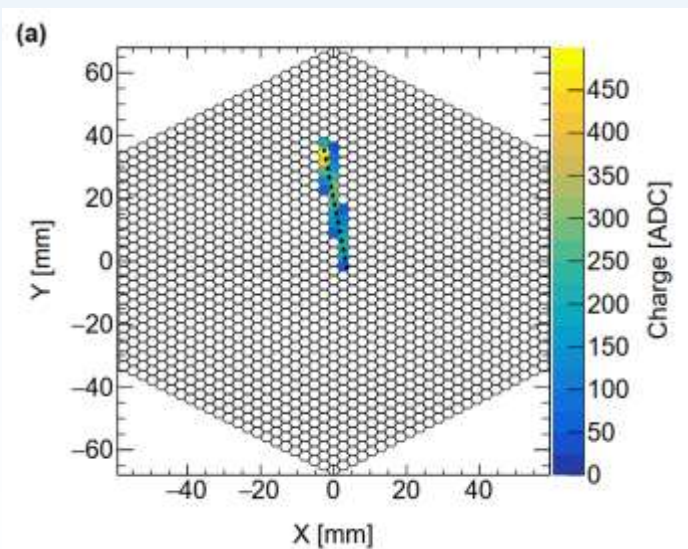
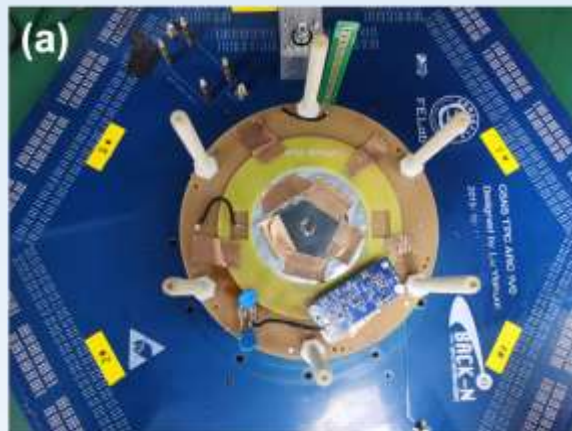
α 源测试

◆ 实验设置

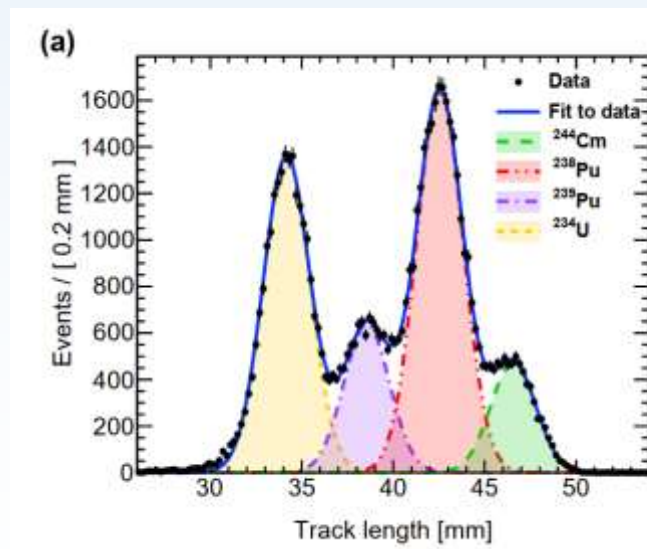
- 工作气体: Ar/CO₂(93/7)
- 漂移区气隙: 70mm
- 放射源: 四组分 α 源(4775、5157、5499、5805 keV)

◆ 实验结果

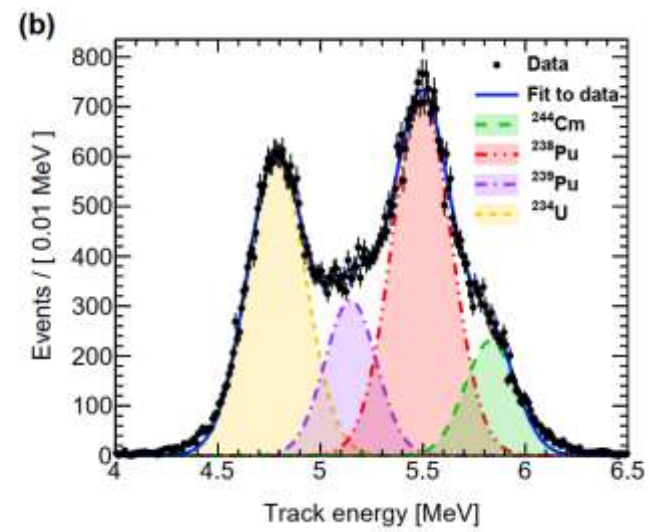
- 漂移速度: 15.5163 mm/ μ s
- 能量分辨: 2%-3% @四组分 α 源



典型 α 事例径迹



径迹长度分布



粒子能量分布

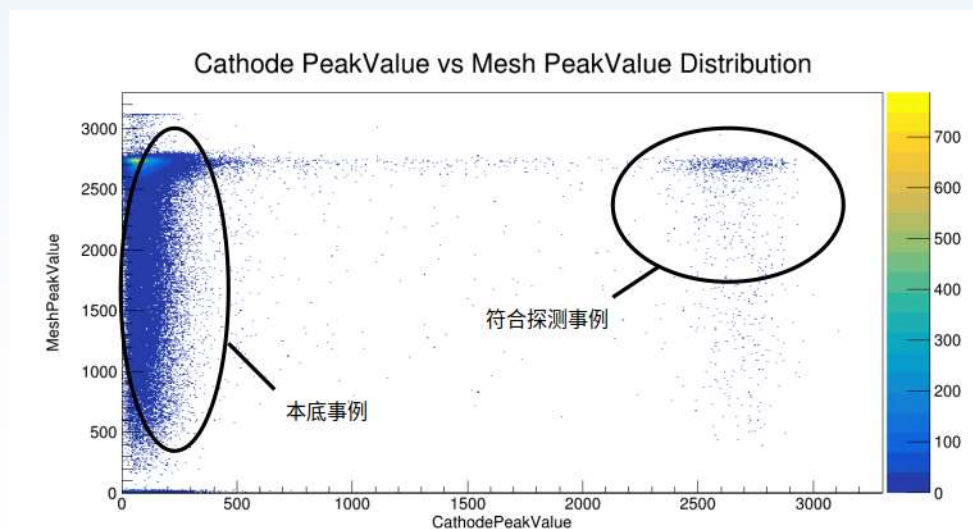
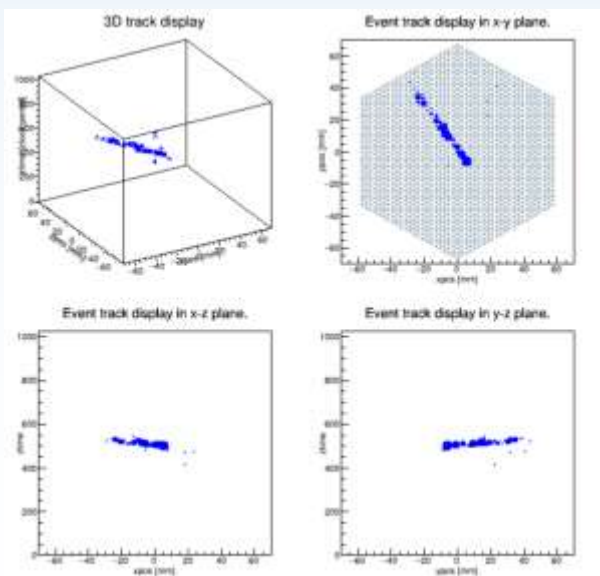
宇宙线测试

◆ 实验设置

- 工作气体: Ar/CO₂(93/7) @70mm气隙
- TPC侧面放置方形塑闪探测器(SiPM 读出)
- 挑选塑闪信号与TPC径迹符合的事例选出宇宙线事例
- 塑闪信号作为电子漂移的时间起点

◆ 实验结果

- 漂移区电场均匀性, 等待分析



中子核反应标准截面测量

- 中子标准截面对应的核反应中，有6个反应为轻带电粒子出射反应
- 在10MeV以下能区，适合使用TPC进行测量
- 可提高测量的精度和更为全面的核反应信息
- 标准截面数据是核数据研究的基础，自主开展成体系的标准截面实验测量及数据评价，在基础研究和应用方面有重要意义

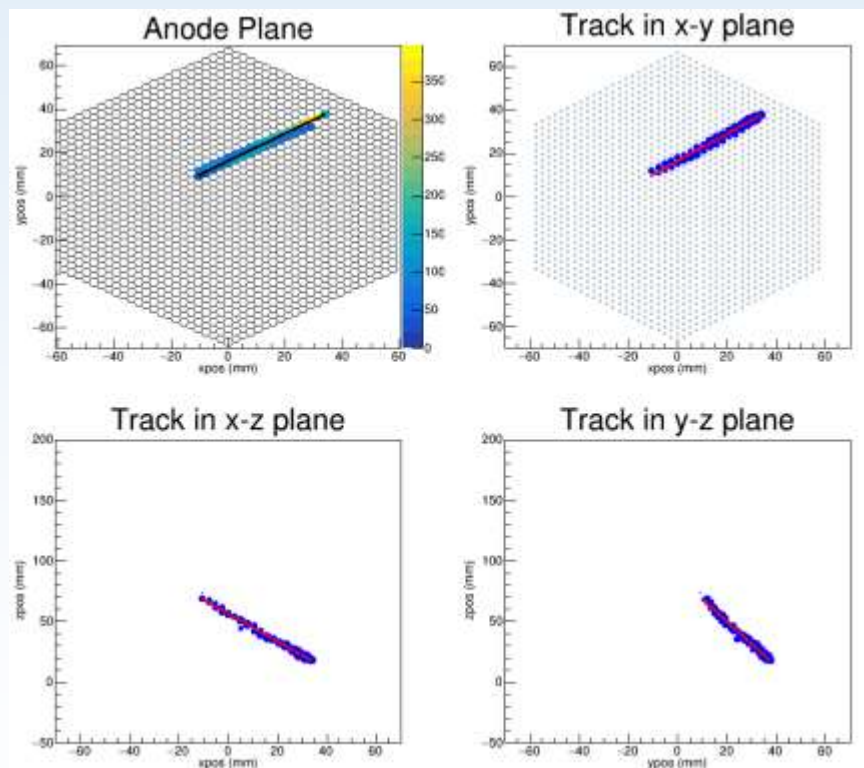
TABLE I. Cross section standards and reference data, release 2017.

Neutron cross section standards	
Reaction	Standards incident neutron energy range
H(n,n)	1 keV to 20 MeV
³ He(n,p)	0.0253 eV to 50 keV
⁶ Li(n,t)	0.0253 eV to 1 MeV
¹⁰ B(n,α)	0.0253 eV to 1 MeV
¹⁰ B(n,α ₁ γ)	0.0253 eV to 1 MeV
C(n,n)	10 eV to 1.8 MeV
Au(n,γ)	0.0253 eV, 0.2 to 2.5 MeV, 30 keV MACS
²³⁵ U(n,f)	0.0253 eV, 7.8-11 eV, 0.15 MeV to 200 MeV
²³⁸ U(n,f)	2 MeV to 200 MeV

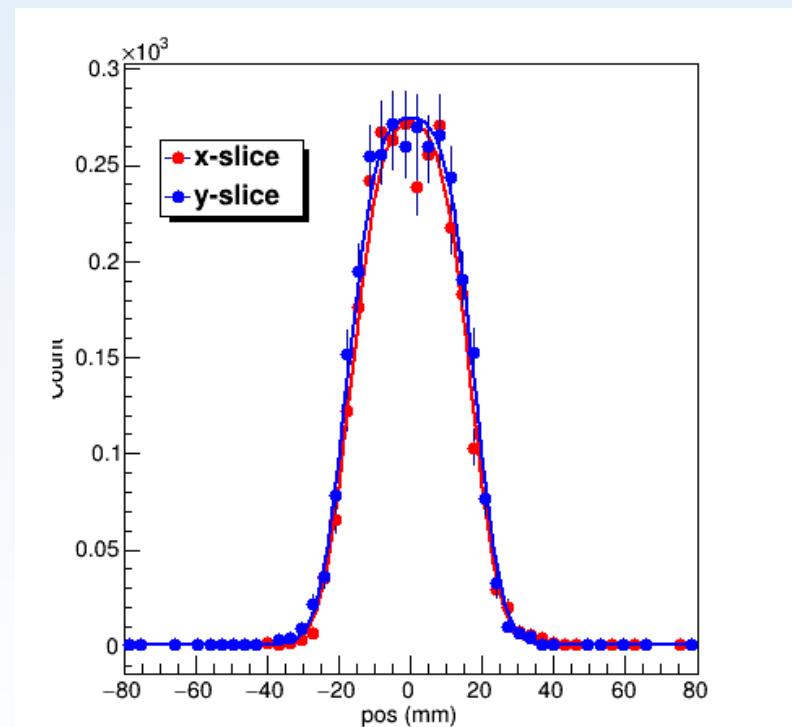
反应	研究情况	技术难度
⁶ Li(n,t)	已开展实验 (2023.2)	★★★
¹⁰ B(n,a)	实验构想	★★★
H(n,n)	基金课题	★★★★
C(n,n)	/	★★★★
³ He(n,t)	/	★★★★★

白光中子束斑分析

- 3维Hough变换进行径迹查找, 3维主值分析得到径迹参数
- 重建之后得到径迹方向、能量、长度, 通过将径迹参数外推至z值最大点, 得到顶点xy坐标
- 根据径迹能量和长度, 可进行粒子鉴别



径迹重建



束斑分布

总结

◆搭建并完成了探测器系统

◆构建了模拟分析程序框架

◆X射线、 α 源、宇宙线对探测器的性能进行了测试研究

◆开展了中子核反应截面的测量

◆.....

• 探测器系统 (80%)

- 阳极读出板
- 电场笼、气室腔体
- 气路系统
- 读出电子学
- 数据获取

• 模拟分析程序框架 (70%)

- 模拟程序框架
- 模拟程序物理模型
- 分析程序框架
- 数据分析流程

• 实验方法体系 (60%)

- 数据分析方法
 - 波形分析
 - 径迹重建
- 探测器测试方法
 - x射线
 - α 源
 - 宇宙线

• 物理实验体系 (10%)

- 中子核反应标准截面
 - ${}^6\text{Li}(n,t)$
 - ${}^1\text{H}(n,n){}^1\text{H}$
- 核物理相关重要截面
 - ${}^{16}\text{O}(n,a)$ 、 ${}^{19}\text{F}(n,a)$
 - ${}^{12}\text{C}(n,3a)$
- 国家重大需求相关截面

谢谢！

轻带电粒子探测器阵列

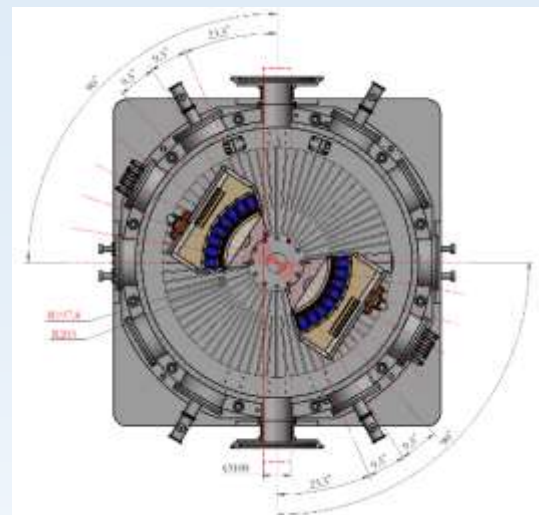
◆ CSNS反角白光中子源主要研究方向之一

- 两体反应
 - ${}^6\text{Li}$ 、 ${}^{10}\text{B}$ 的(n, α)反应
 - ${}^{12}\text{C}$ 、 ${}^{16}\text{O}$ 的(n,p)、(n,d)、(n,t)、(n, α)反应
- 三体反应：
 - ${}^{12}\text{C}$ 的(n,3 α)反应

◆ LPDA: 轻带电粒子探测器阵列

- 8个 ΔE - ΔE -E探测单元, 每个单元由MWPC、Si和CsI组成
- 覆盖立体角小 (0.2%)
- 粒子探测能量阈值高, 约为0.5MeV (Proton)
- 主要针对(n,p/d/t)(n, α)等轻带电粒子反应的测量

- ◆ LPDA的限制: 小截面、低能产物和多产物反应的测量有较大难度



轻带电粒子探测器阵列示意图

