

CSNS白光中子源时间投影室 研制进展及物理实验

报告人：易晗

中国科学院高能物理研究所

散裂中子源科学中心

2021年10月23日@先进气体探测器研讨会



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences



中国散裂中子源
China Spallation Neutron Source



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



报告内容

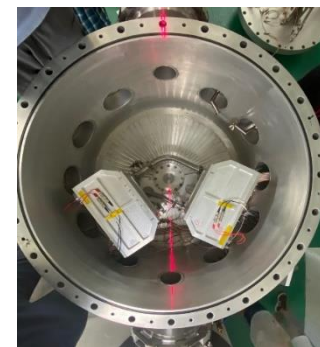
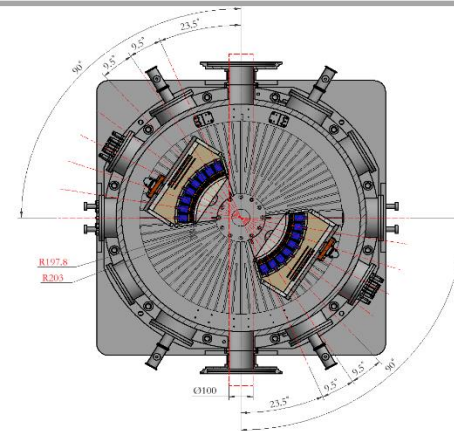
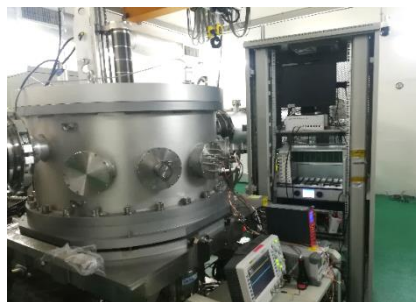
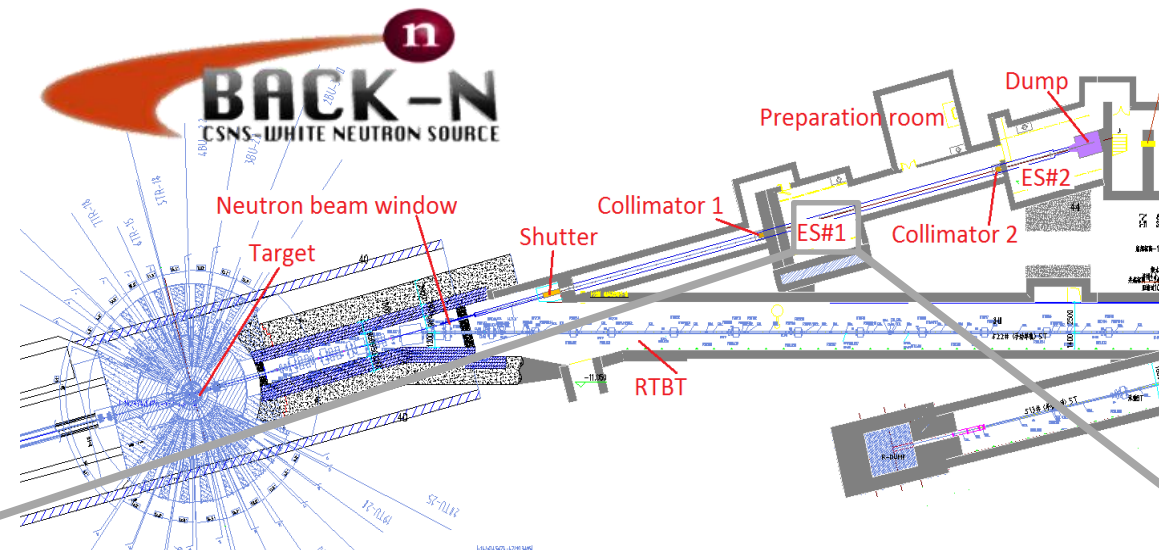
- 项目概况
- 探测器研制
- 物理实验
- 程序框架
- 报告总结

报告内容

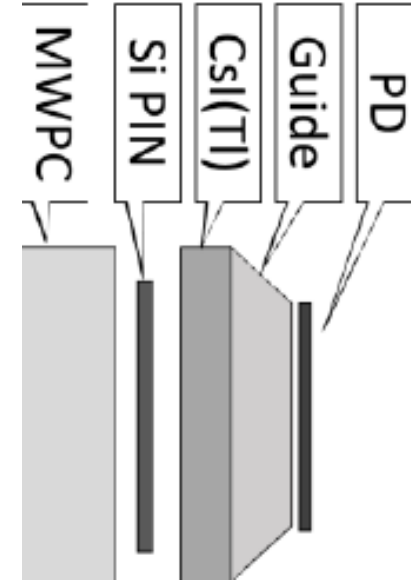
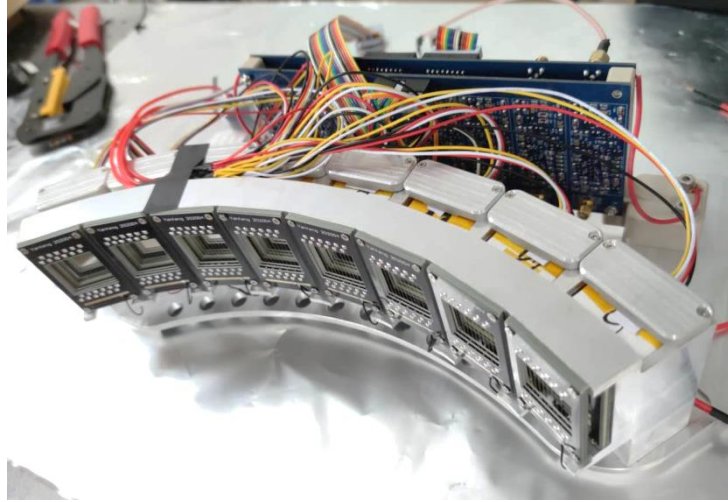
- 项目概况
- 探测器研制
- 物理实验
- 程序框架
- 报告总结

轻带电粒子出射核反应@CSNS Back-n

- 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
- 四体反应：
 - ${}^{16}\text{O}$ 的(n,4 α)反应
- 其他的多体反应；
- **已有实验装置：轻带电粒子探测器阵列**

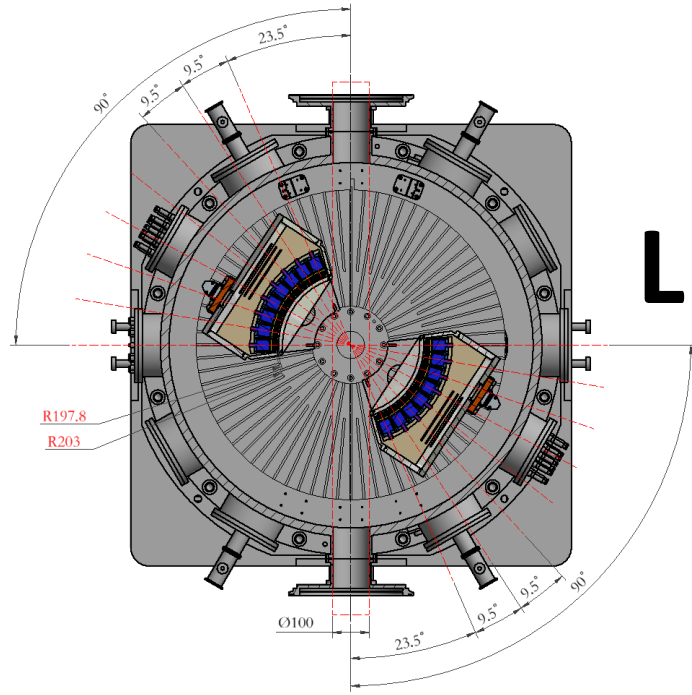


轻带电粒子探测器阵列



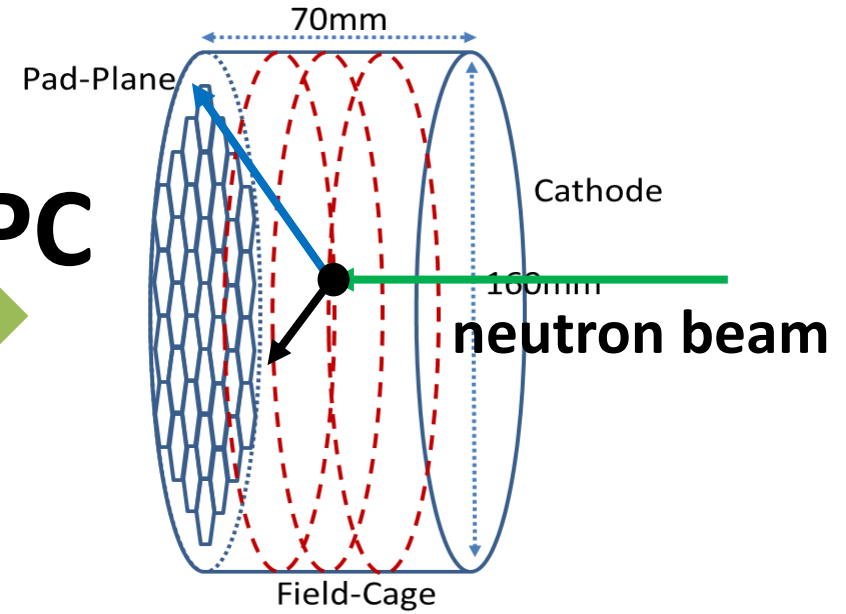
- 每个阵列包含8个单元，每个单元由MWPC、Si和CsI组成；
- 总共覆盖立体角约0.2%；
- 粒子探测能量阈值约0.5MeV (proton) ；
- 主要针对(n,p/d/t)、 (n, α) 等轻带电粒子反应的测量；
- 小截面、低能产物反应的测量有较大难度；

白光中子源TPC



LPDA

TPC



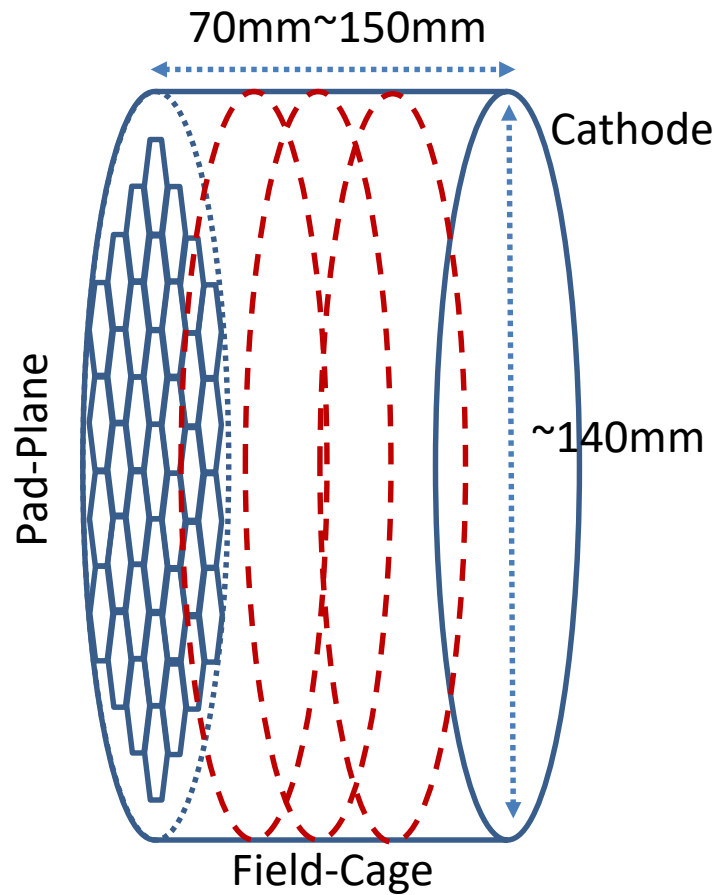
- 采用TPC方案进行**轻带电粒子反应**实验测量：
 - **大立体角覆盖**；
 - **能量探测阈值低**；
 - **复杂反应道甄别、粒子甄别**；

项目团队

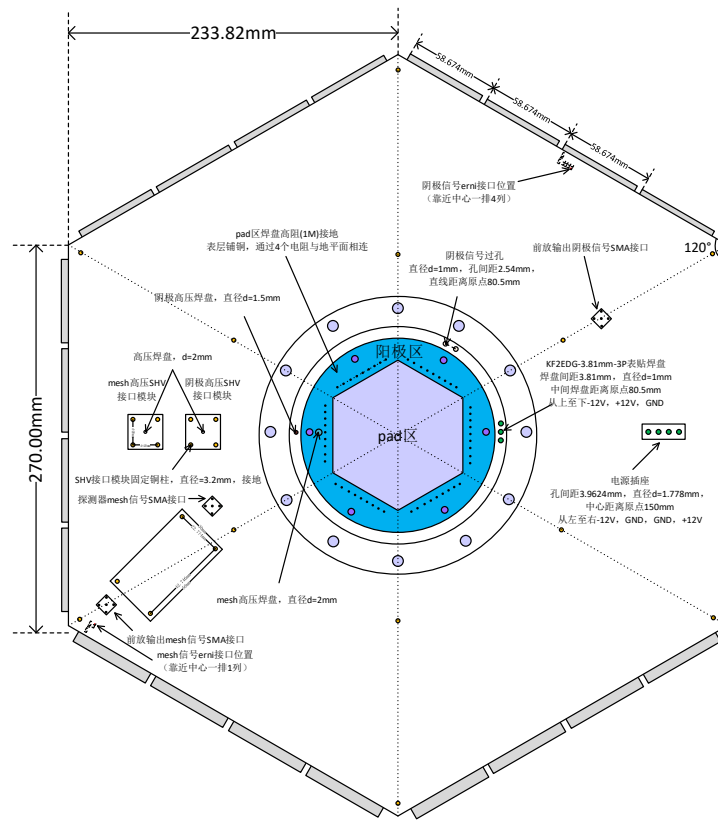
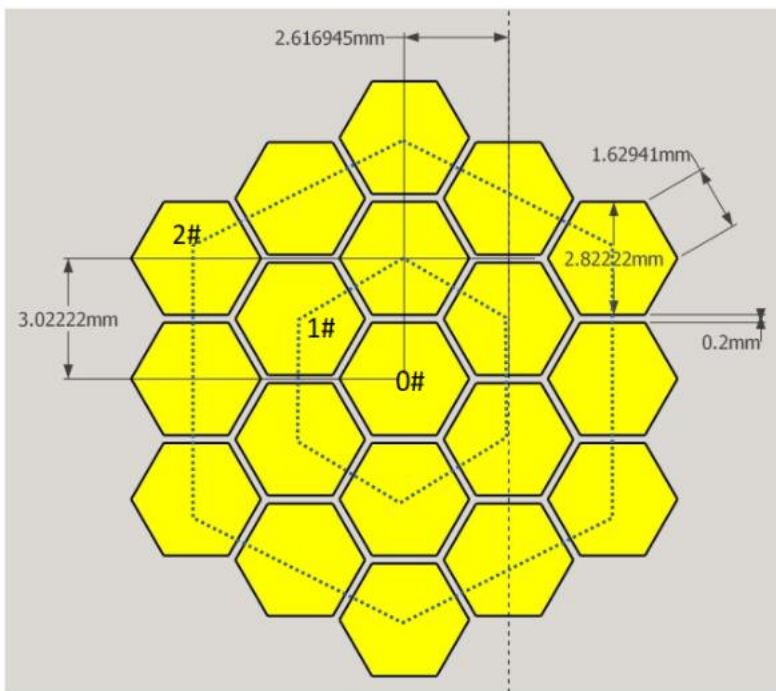
- **中科院高能所：**
 - 探测器系统设计、DAQ、物理实验、数据分析
- **中科大：**
 - Micromegas工艺、电子学
- **北京大学：**
 - 物理实验、数据分析

报告内容

- 项目概况
- **探测器研制**
- 物理实验
- 程序框架
- 报告总结



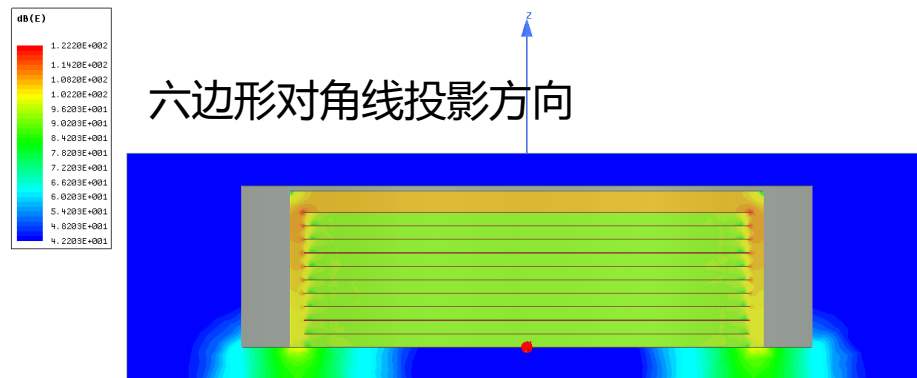
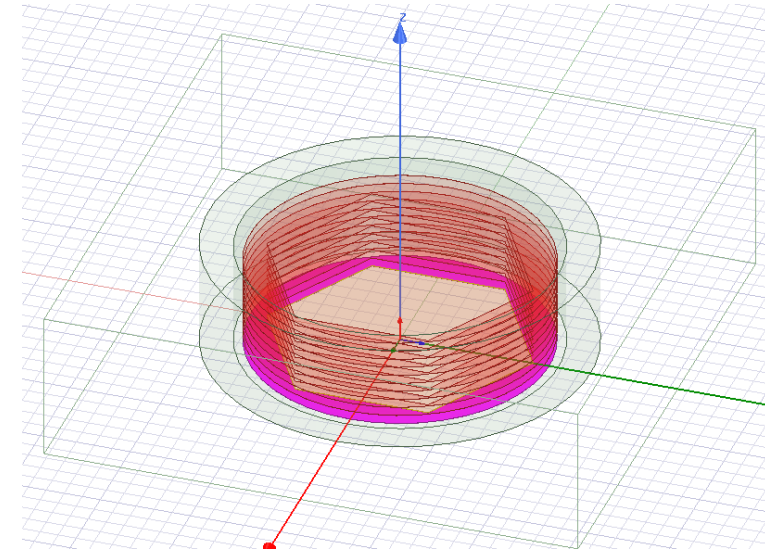
- 电场结构为圆柱体;
- 漂移区距离可调, 适应不同实验需求;
- 电子增益结构采用Micromegas;
- 读出阵列采用六边形密堆结构;
- 电场线方向平行于入射中子束流方向, 可采用固定靶或气体靶。



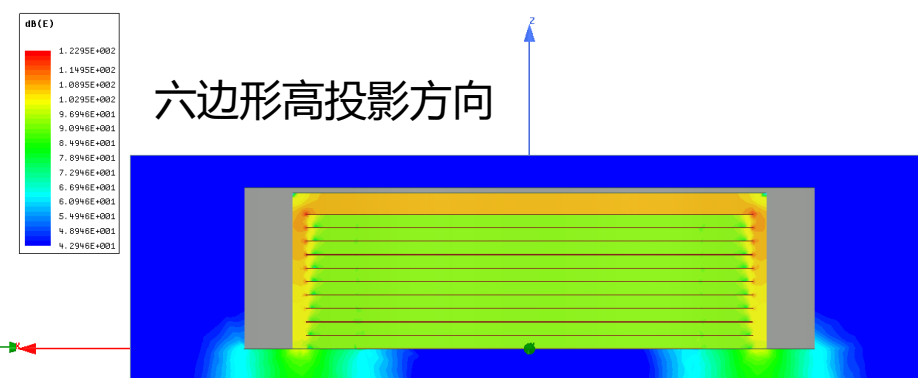
- 采用六边形密堆方式，构成1519个阳极pad，每个pad边长64mil(1.63mm)，阳极区为边长约为68.5mm的六边形；

设计模拟

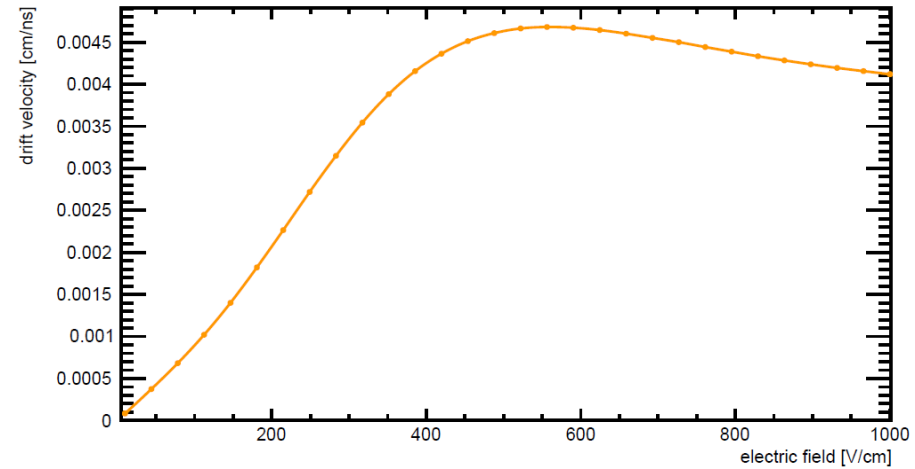
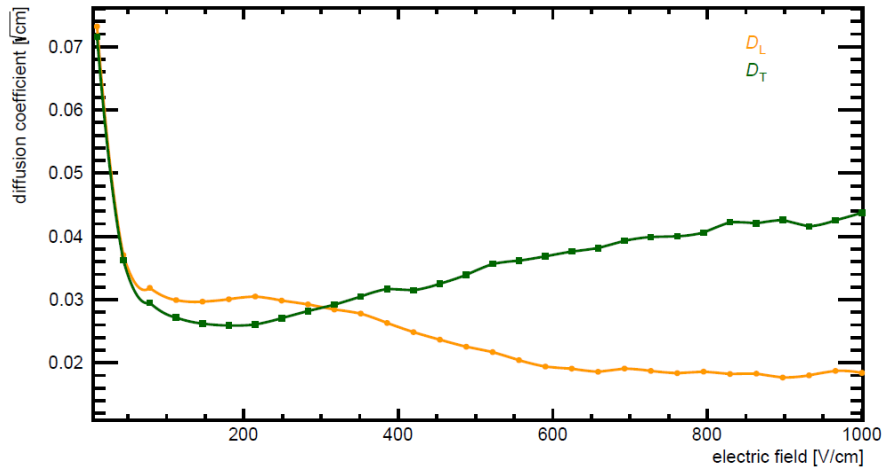
- 使用ANSYS-Maxwell构建电场盒模型;
- 层叠六边形均压环结构;
- 阳极板铺铜浮动电位;
- 均压环间距5mm, 电位差200V, 共9层均压环;
- 均压环内圈为六边形;
- 外壳接地, Mesh电位400V, 阴极电位2400V;
- 边缘效应导致电场非均匀性, 越靠近顶部边缘效应越强。



六边形对角线投影方向



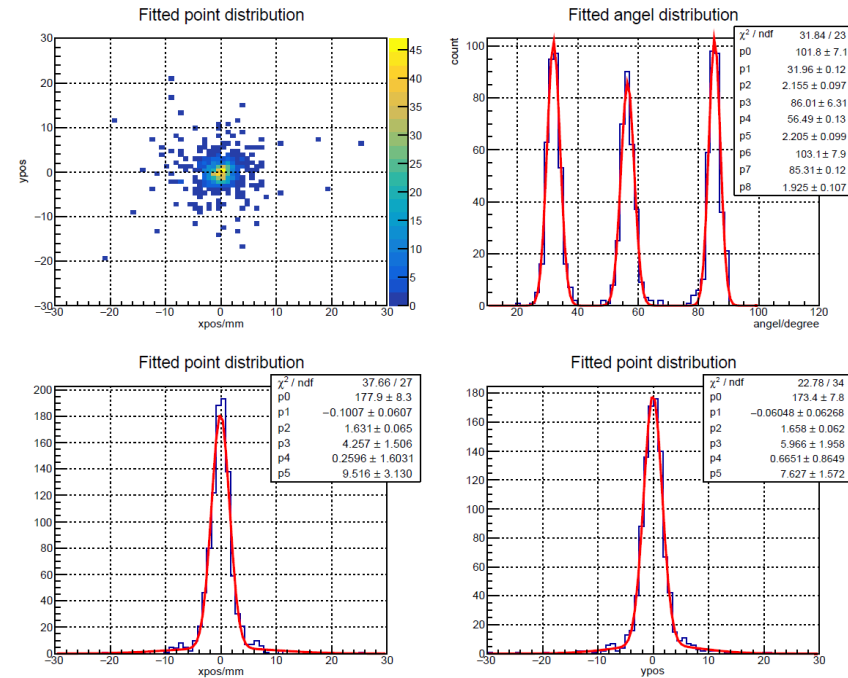
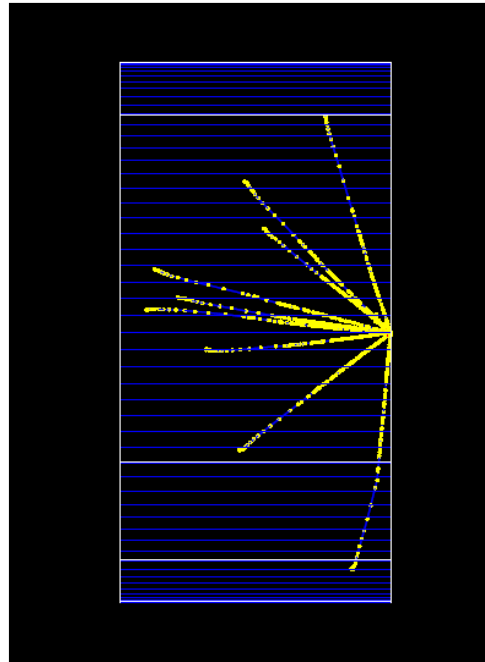
六边形高投影方向



- 工作气体：Ar+CO₂ (93:7)
- 实验CO₂作为猝灭气体：不可燃、低电子漂移、低电子扩散率、高光子吸收截面；
- 使用Garfield++模拟得到横向和纵向扩散率、电子漂移速度；
- 在180V/cm附近，横向和纵向扩散率约 $0.03\sqrt{cm}$ ，利于获得较高空间分辨率；
- 电子漂移速度0.0018cm/ns，10cm长的距离漂移时间为5.6 μ s，可获得较高中子TOF测量精度。

设计模拟

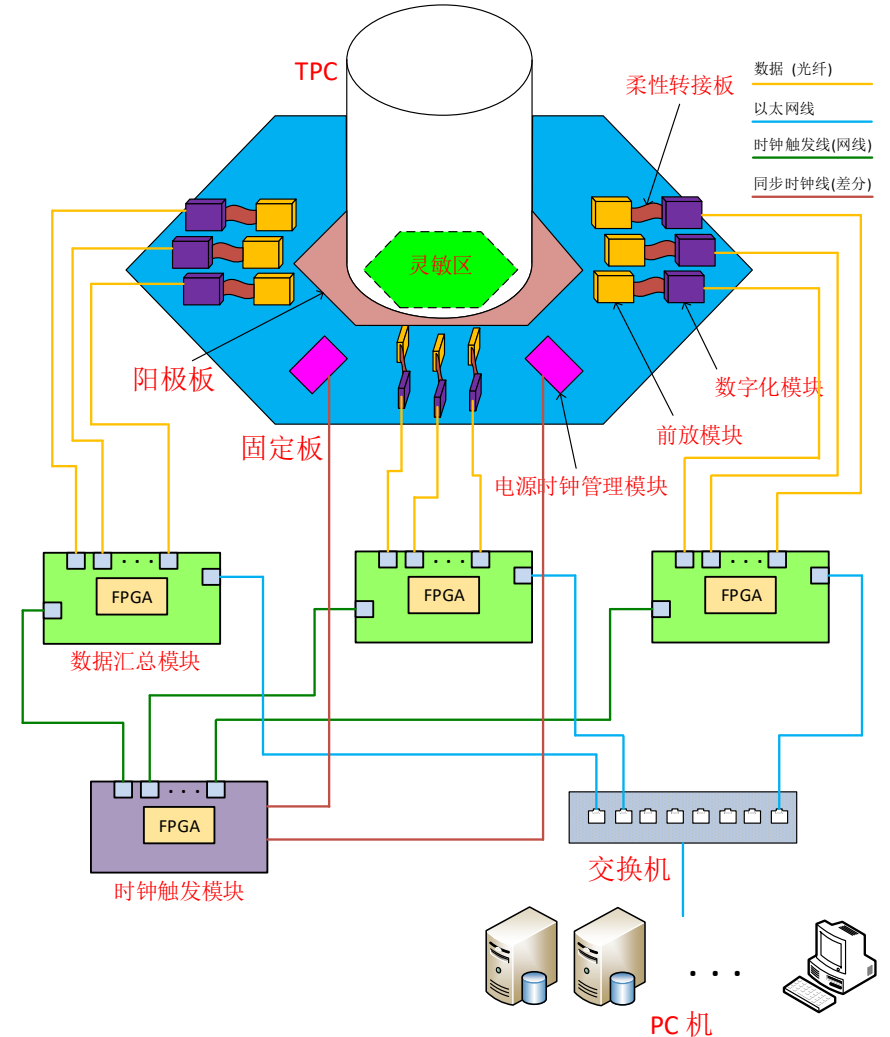
- Geant4模拟得到triton和proton在探测器中的能损信息，通过Garfield++模拟漂移过程得到模拟径迹数据；
- 使用径迹重建算法得到探测器的空间分辨和角分辨；
- 模拟采用的pad边长为3.73mm，实际pad边长为1.63mm，分辨率可进一步提高。



	σ_x	σ_y	σ_θ
triton	1.59mm	1.47mm	2.1°
proton	1.87mm	1.87mm	3.2°

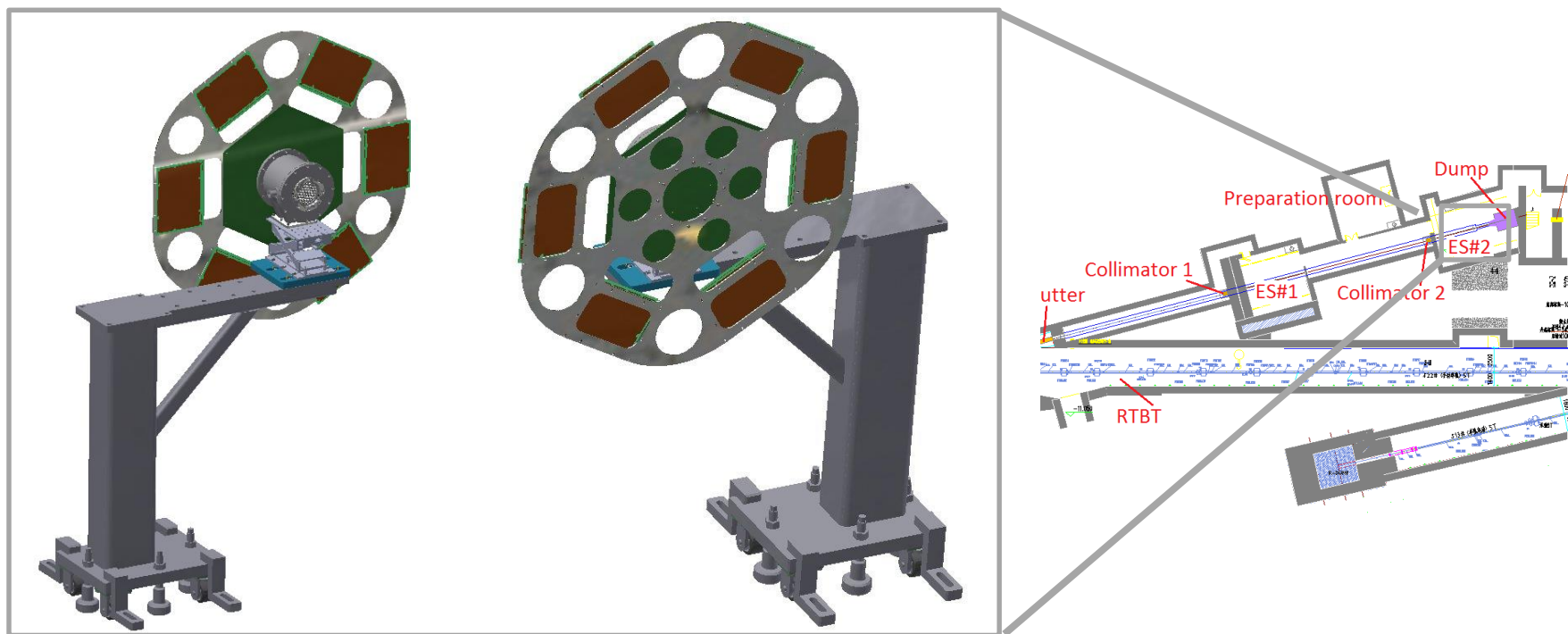
电子学系统

- 系统组成：
 - PAM: Pre-Amplifier Module, 前置放大器模块
 - ADM: Analog-Digital Module, 模数转换模块
 - DCM: Data Collection Module, 数据汇总模块
 - TCM: Time-Trigger Control Module, 时钟触发控制模块
 - PCMM: Power Control & Manage Module, 电源控制管理模块
 - FEE Board: 前端固定板



电子学系统

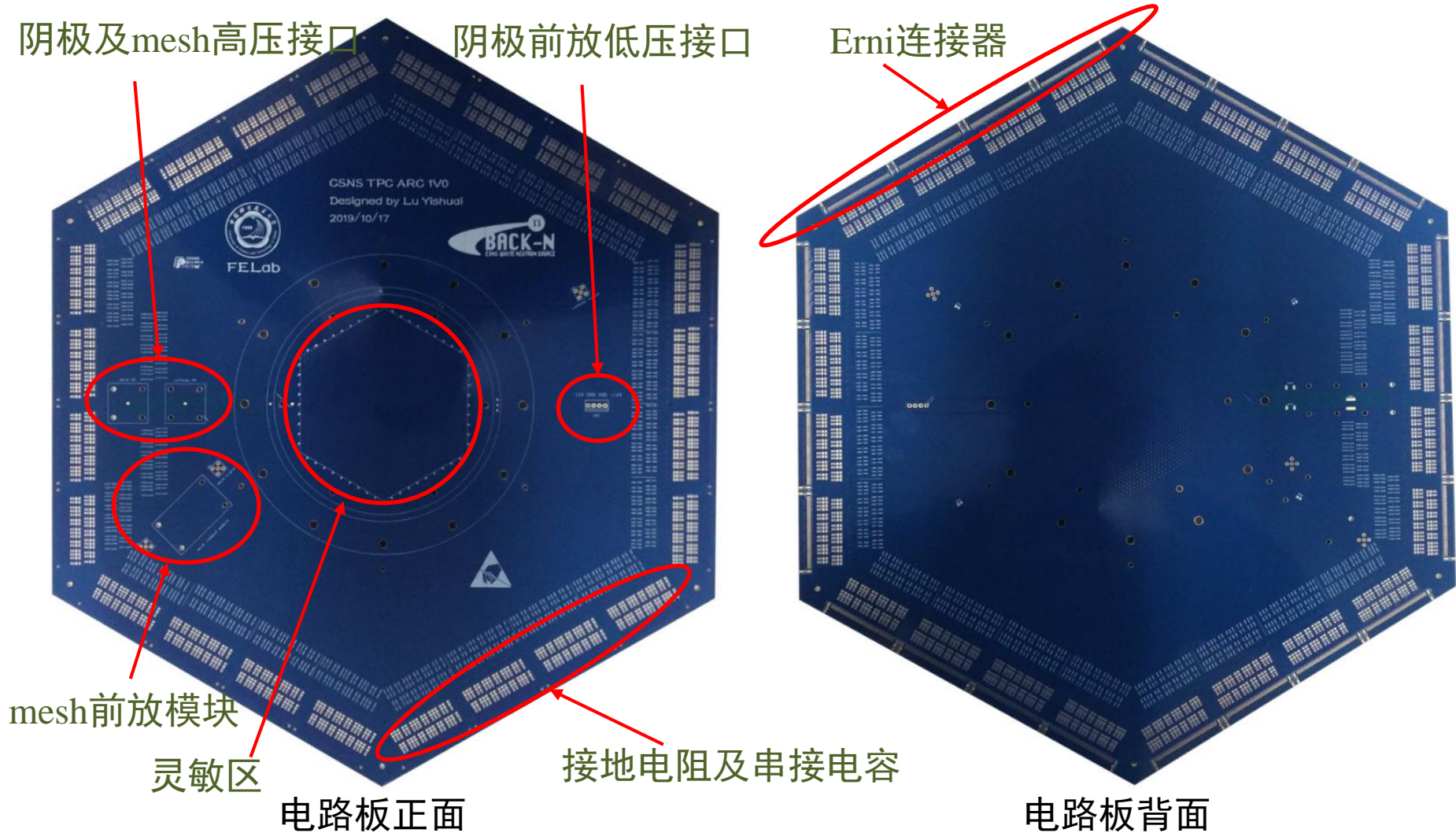




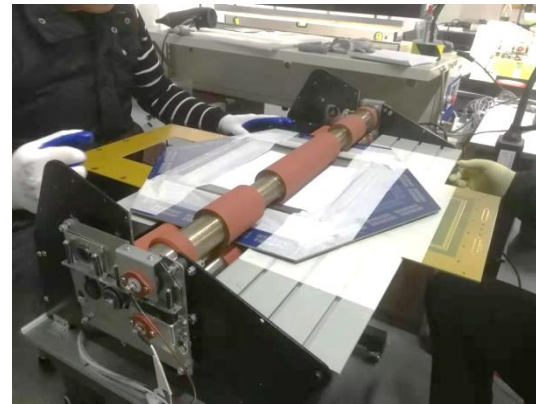
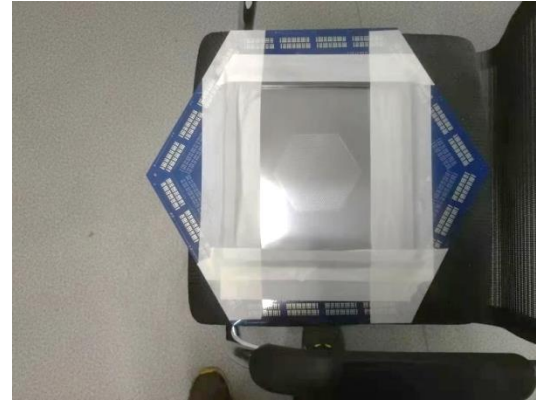
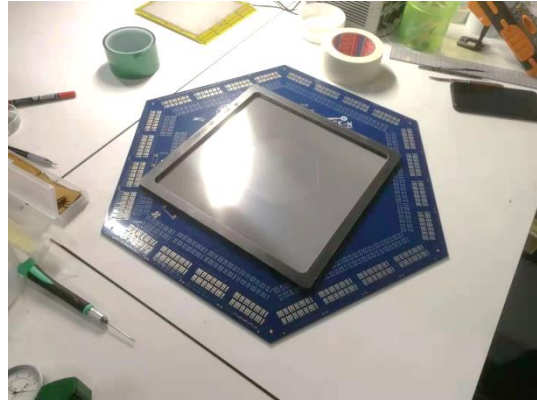
- 总体布局：
- 探测器气室外壳通过升降平台固定于支撑底座；
- 六边形背板与探测器阳极读出板相连，用于固定6块前端电子学板；
- 探测器中轴线与中子束流线中心重合，探测器装置位于白光隧道实验厅二。

探测器制作

- 12层板，厚度3mm，接地电阻和隔直电容表贴于板边缘

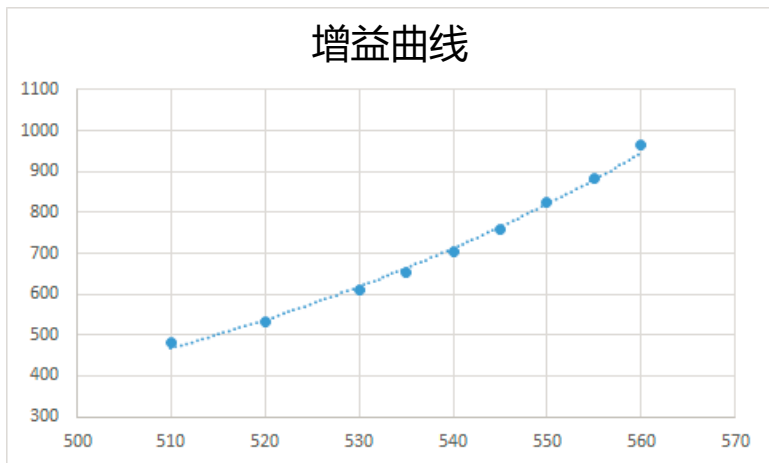
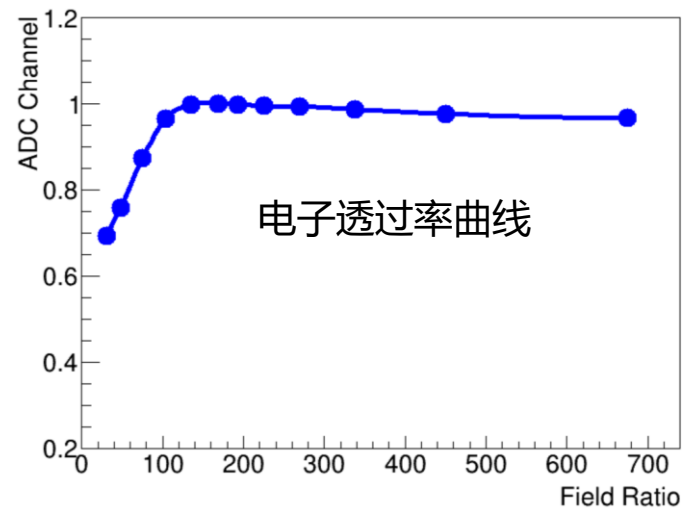
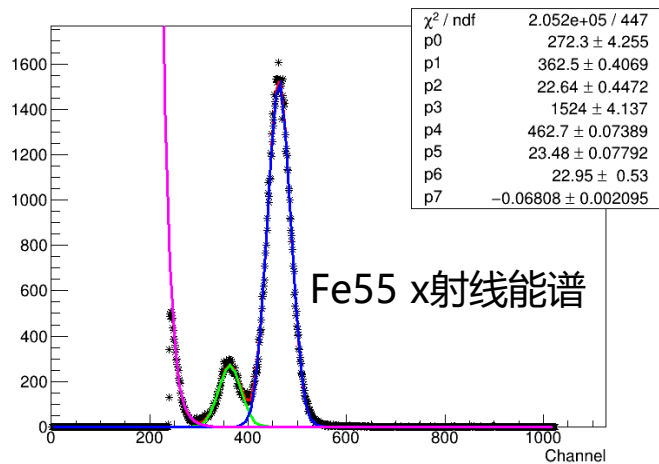
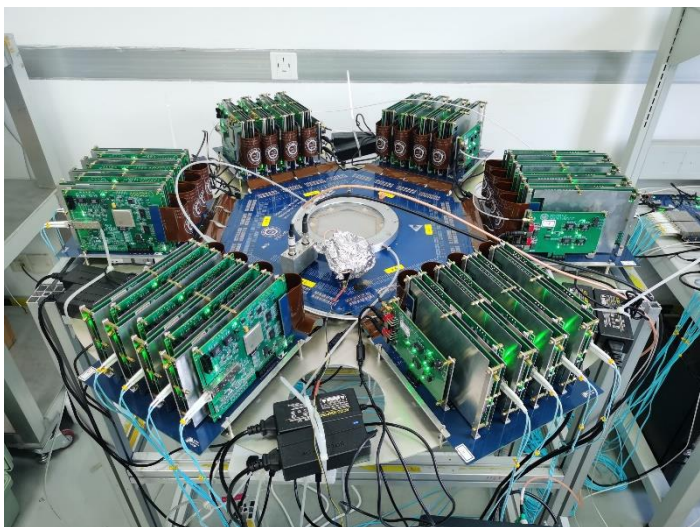


探测器制作

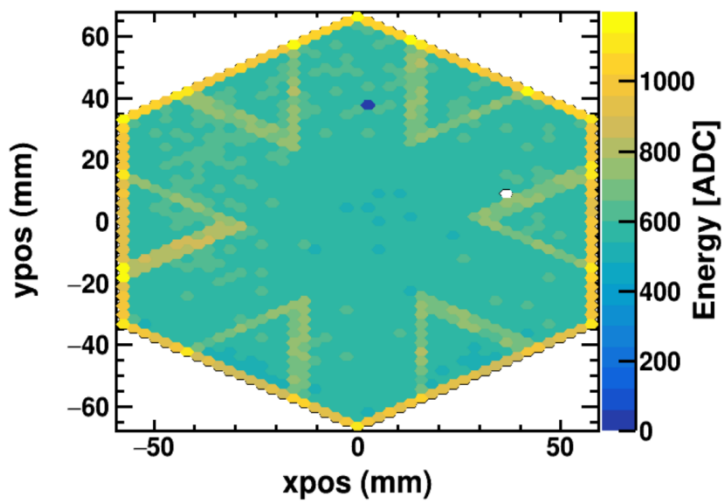


- 采用热压技术压制mesh增益结构；
- mesh参数：不锈钢丝直径 $16\mu\text{m}$ 、厚度 $25\mu\text{m}$ 、LPI-400
- 透过率55%、张力30N；
- 增益区厚度 $100\mu\text{m}$ ，支撑柱直径1mm，间隔10mm

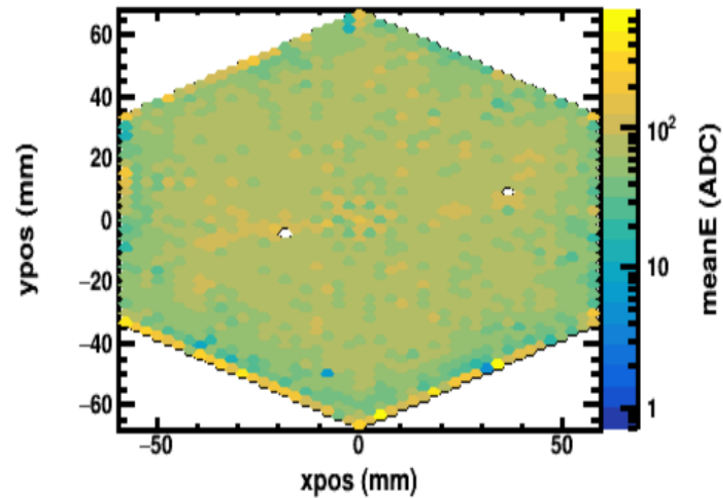
基本参数测试



Mesh电荷注入响应

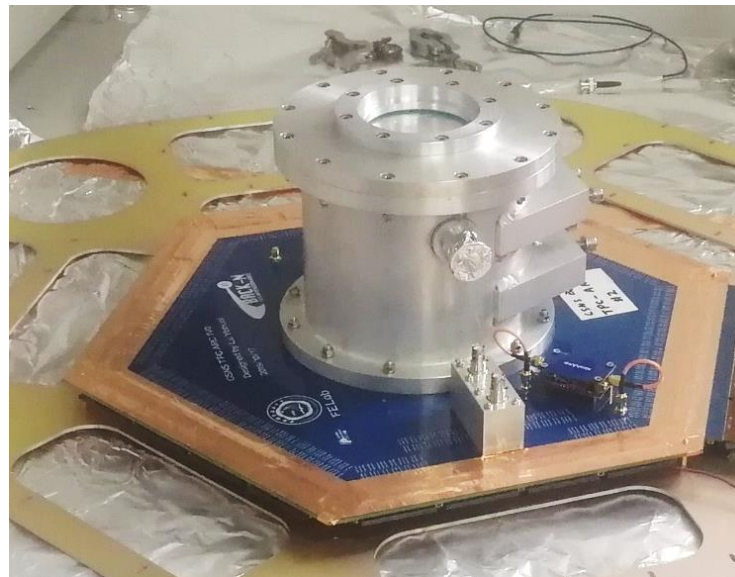
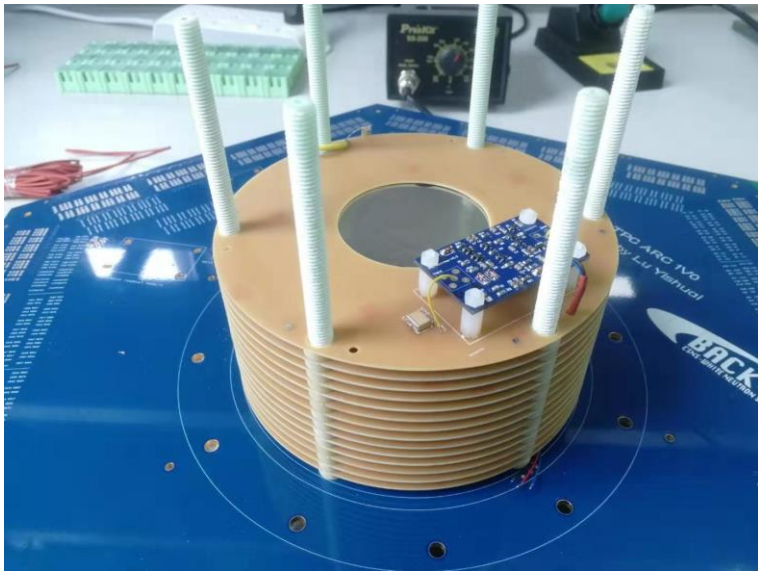


增益均匀性



探测器制作

- 阴极信号作为中子TOF测量的终止信号和电子漂移的起始信号，为降低噪声，在阴极表面设计电荷灵敏前放模块 ($RC=10\mu s$) ；
- mesh信号前放位于气室外壳外；
- 阴极前放与mesh前放分别配置积分电容值 (1pF、10pF) 与输出电容值 (5pF、1pF) ，以匹配电子学动态范围。
- 高压接口采SHV，通过PCB内层走线与探测器内部连接。

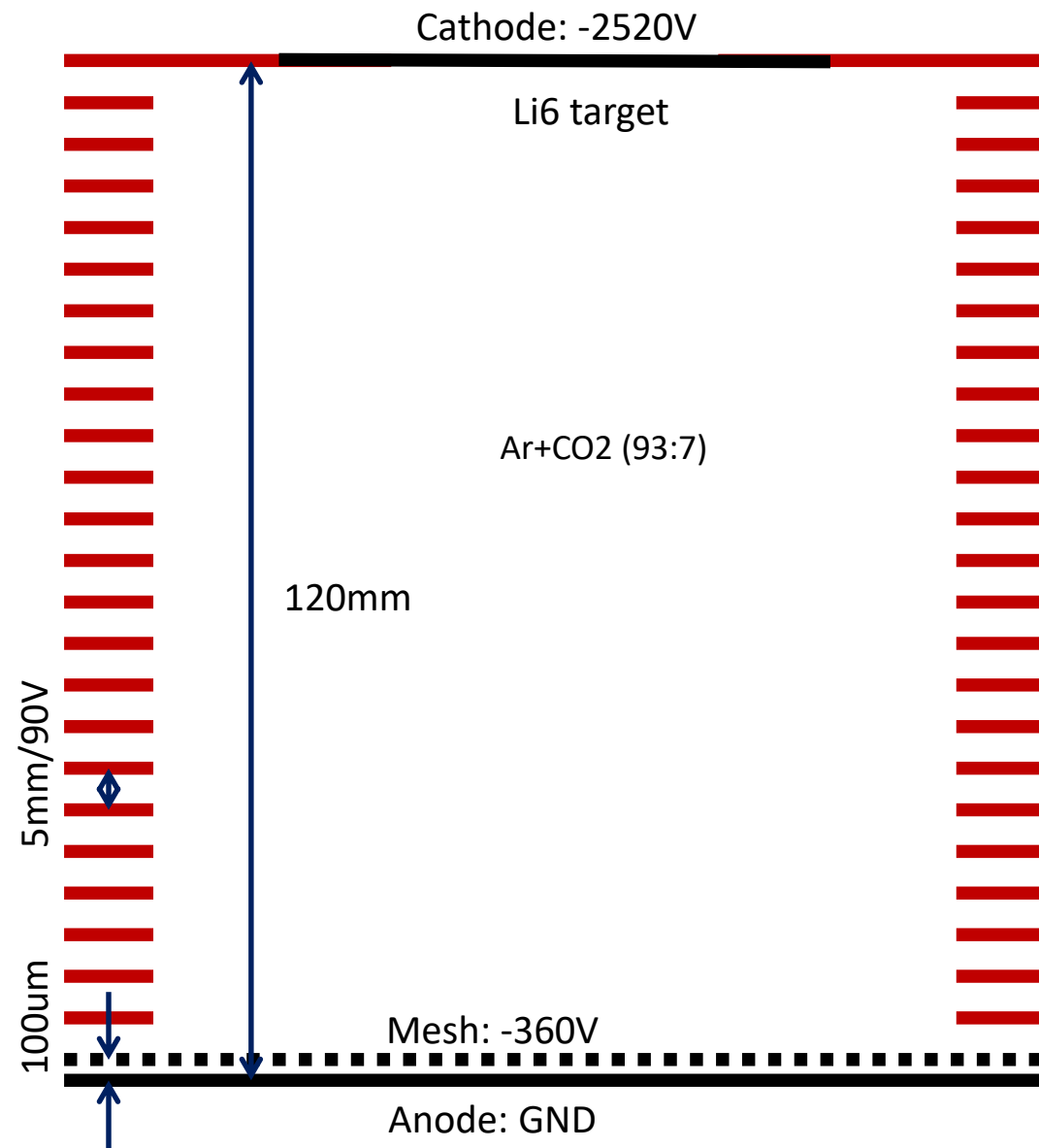
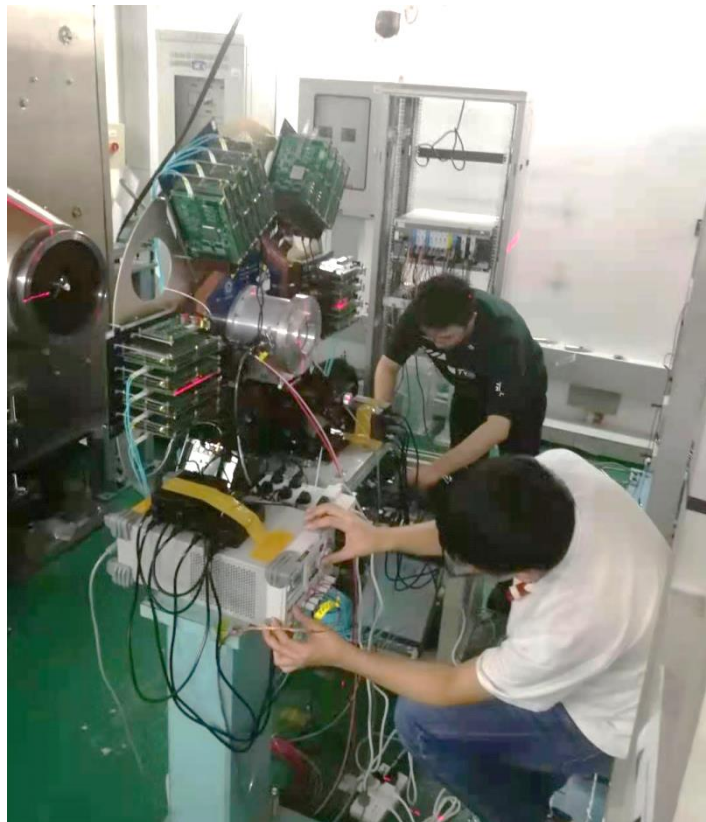
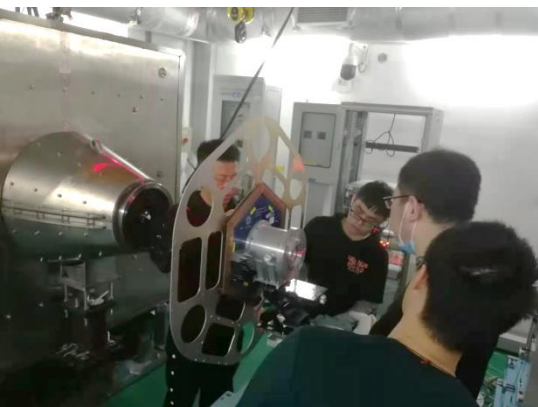
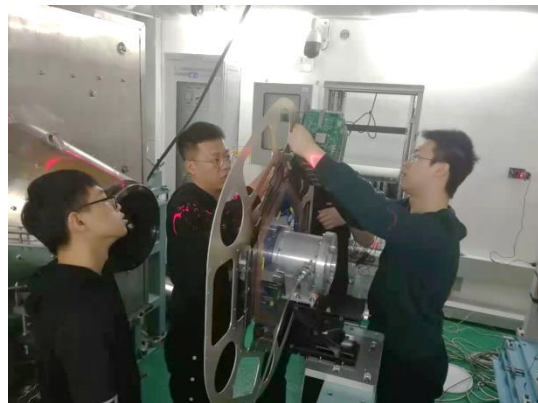


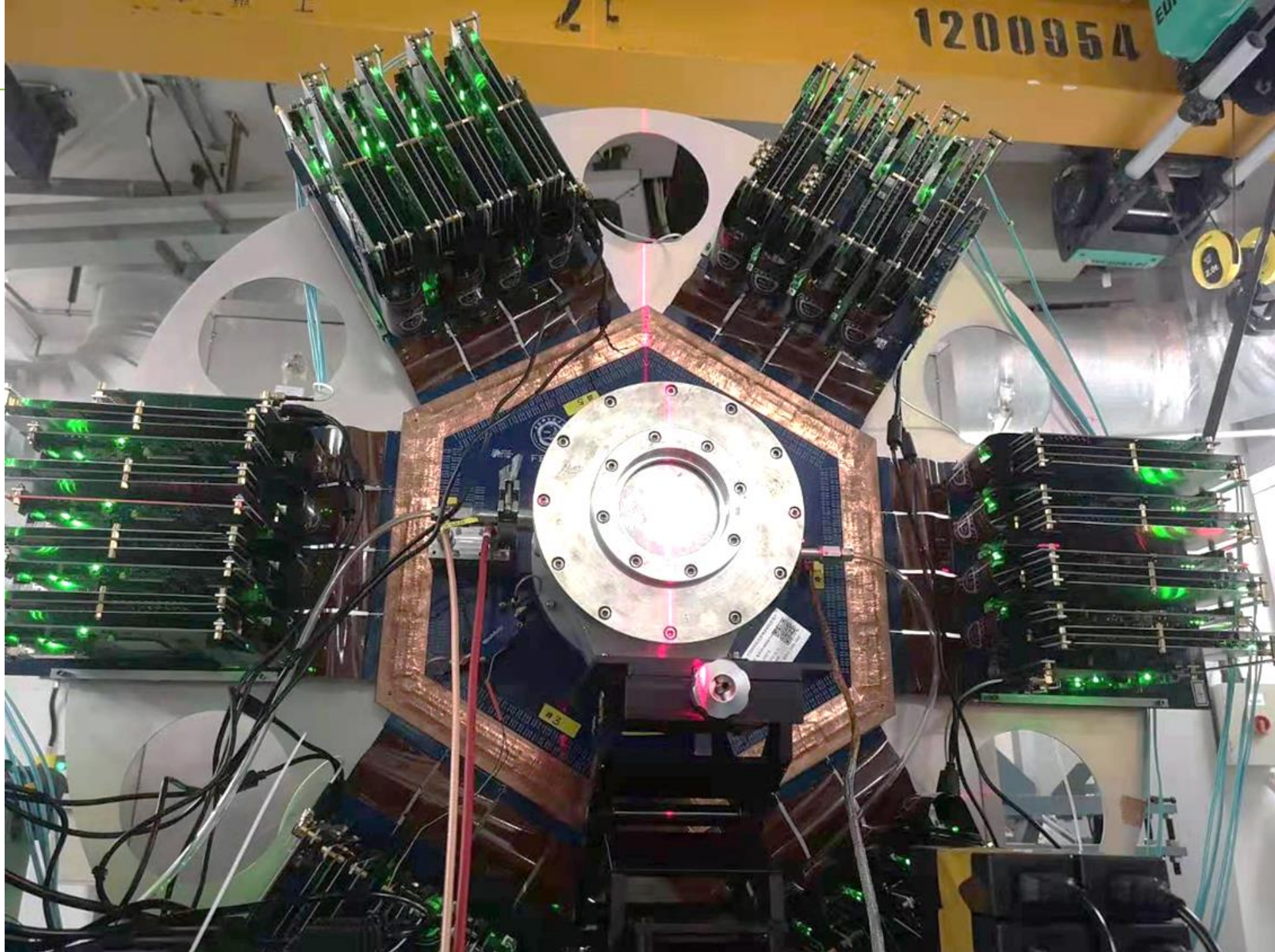
报告内容

- 项目概况
- 探测器研制
- **物理实验**
- 程序框架
- 报告总结

中子束流实验

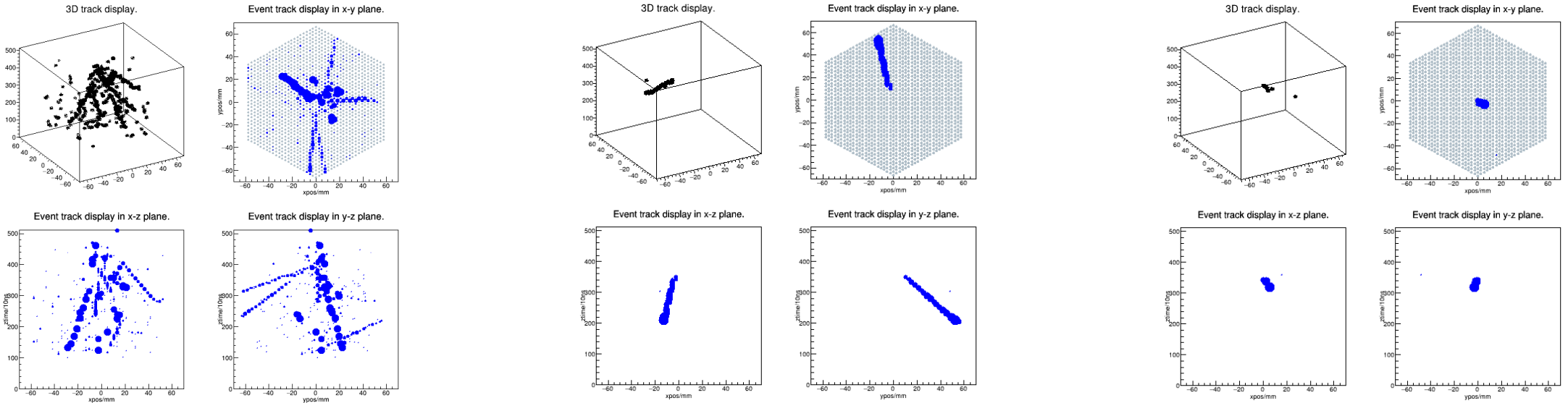
- 阴极底部放置 ${}^6\text{LiF}$ 靶;
- 气体组分比例93:7;
- 气流100mL/min





中子核反应实验测量

- ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 反应实验测量
- 测量 γ -flash信号、氚和 α 信号

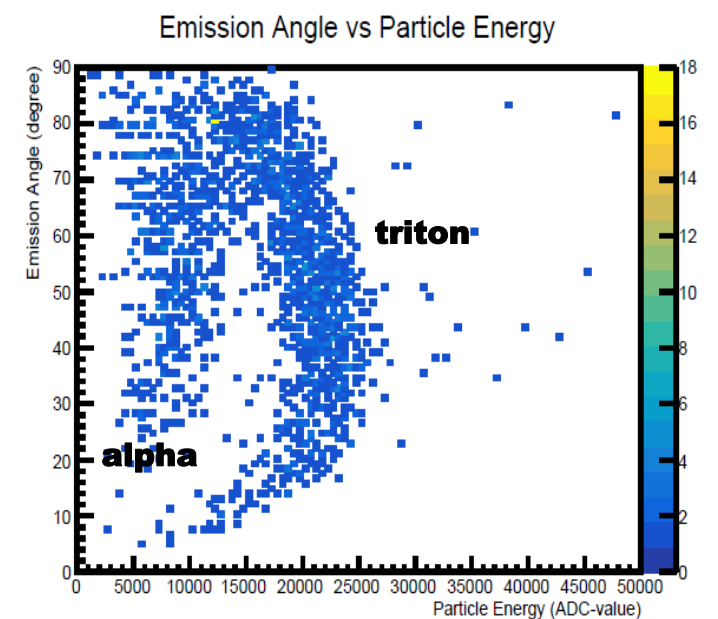
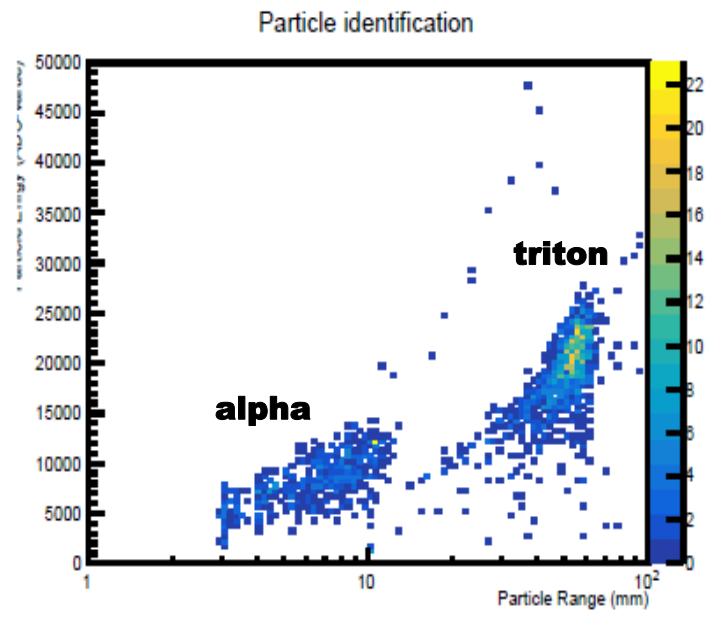
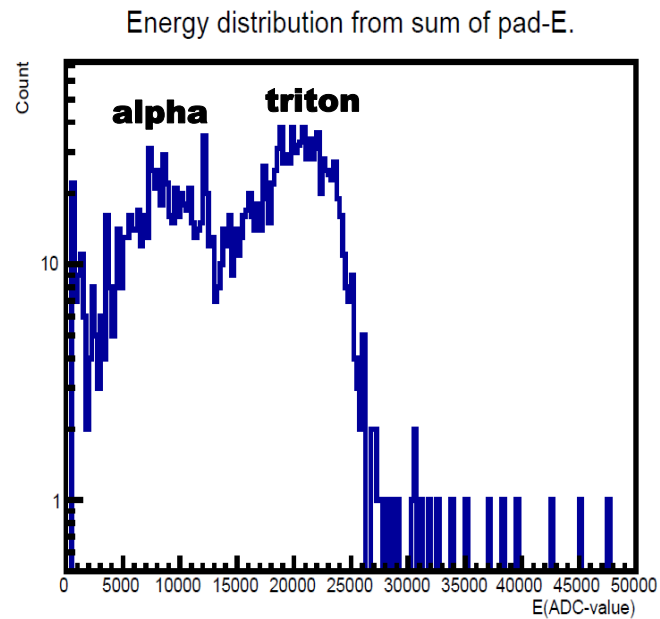


γ -flash、High-Energy neutron

triton

α -particle

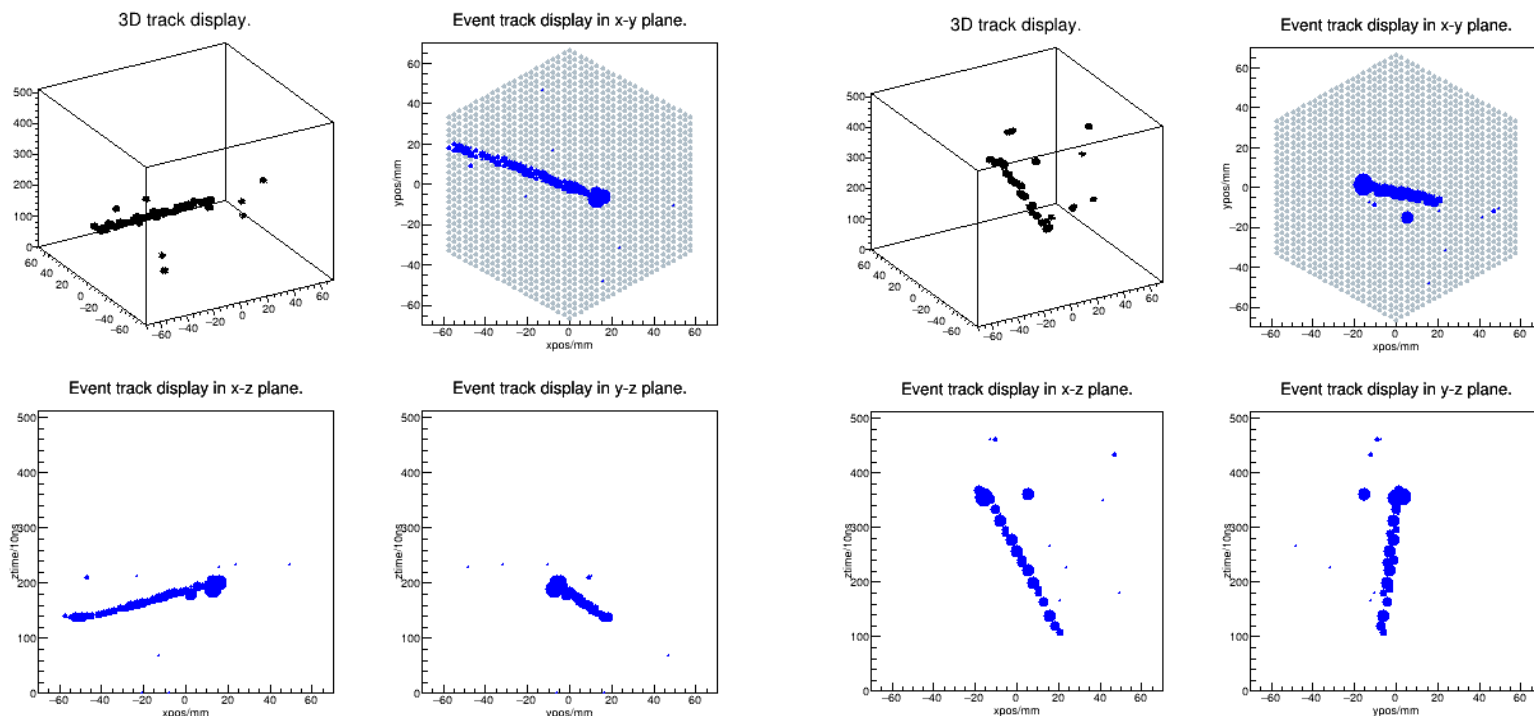
中子核反应实验测量



- 综合多个参数（能量、射程、出射角），对triton和 α 粒子进行鉴别；
- 快速径迹长度计算：直接计算径迹两端的pad坐标中心的距离；
- 快速角度计算：直接计算径迹两端pad坐标中心连线与z轴夹角。

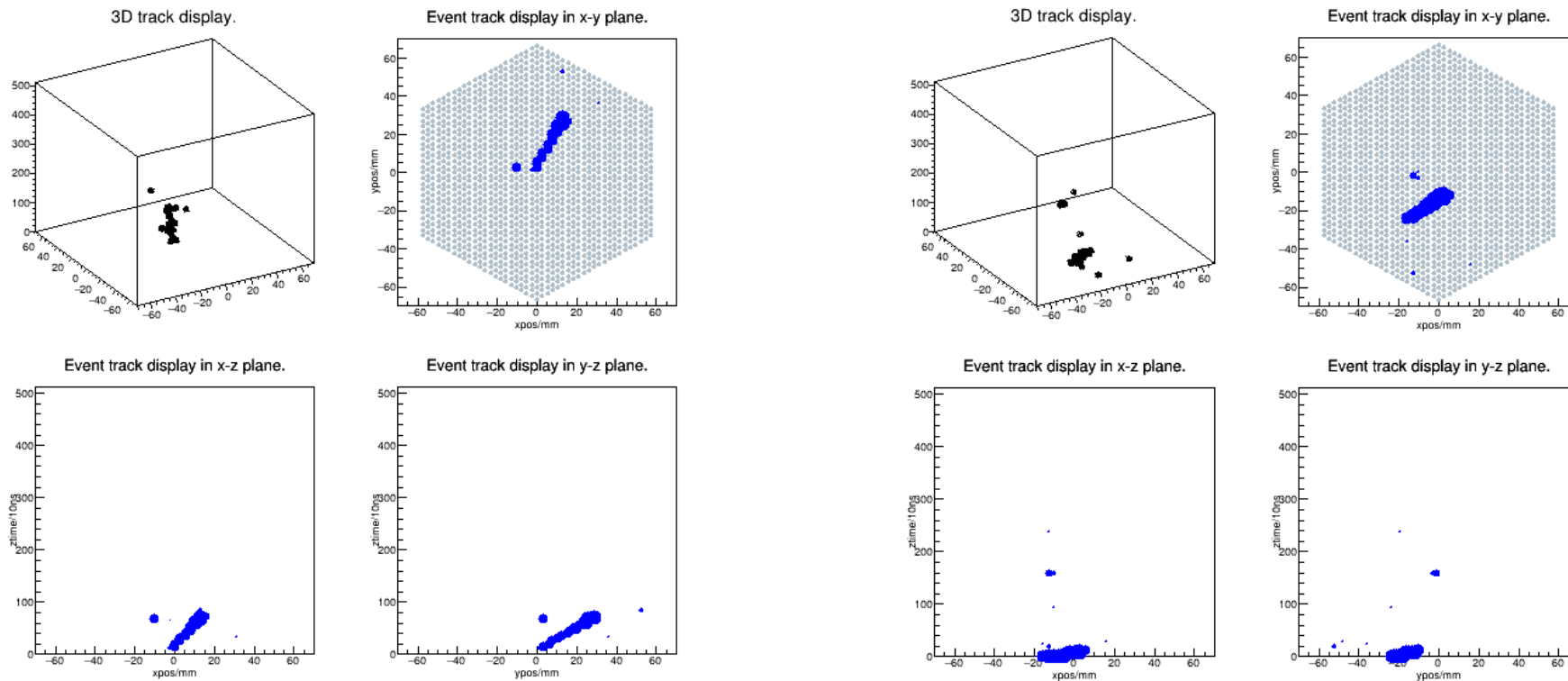
中子核反应实验测量

- $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$ 反应截面测量:
- 可能的目标反应事例：蝌蚪形事例，大头细身；
- 大头是产物中的较重核，径迹短单位距离能损大；
- 细身是产物中的较轻核，径迹长单位距离能损小。



中子核反应实验测量

- $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反应实验测量
- 可能的目标反应:
- 出射粒子的射程和能损分布符合质子在该反应能下的特征;
- 选择低能区中子事例, 仅有该反应道打开。



中子核反应实验测量

- $^{19}\text{F}(n,\alpha)$ 反应实验测量@PKU
- 工作气体Ar+CF₄+iC₄H₁₀ (45:52:3)
- 氘氘单能中子源
- 使用AGET电子学采数数据

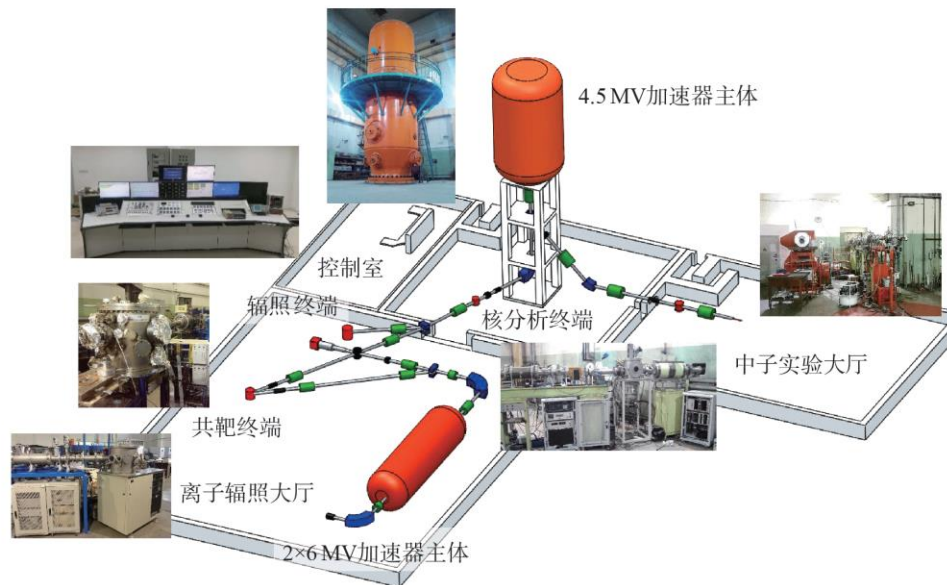
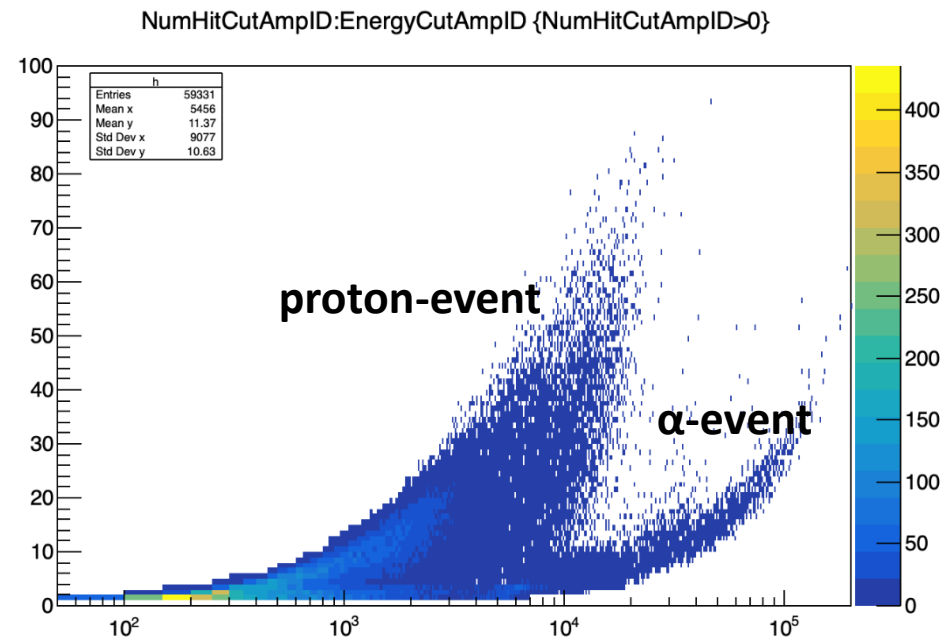
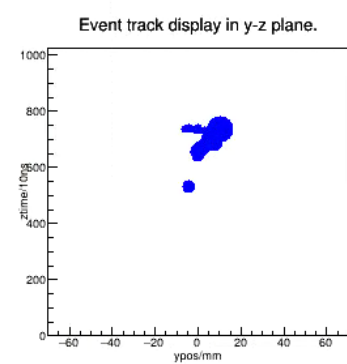
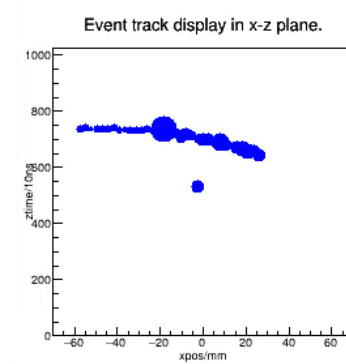
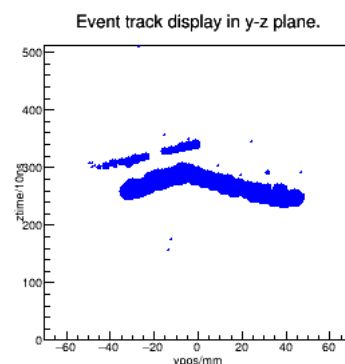
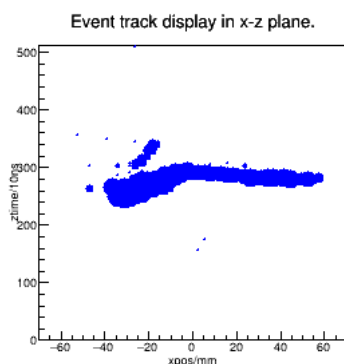
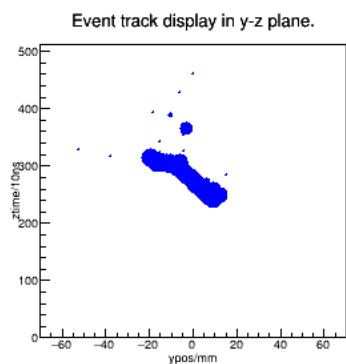
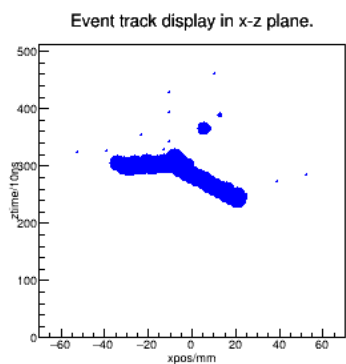
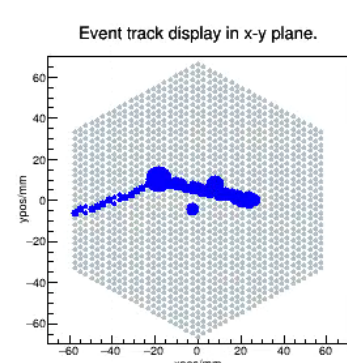
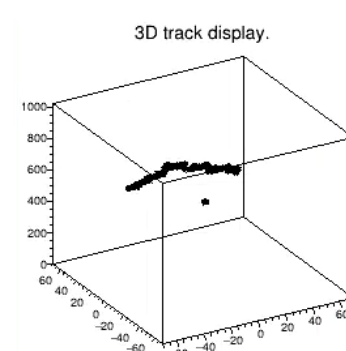
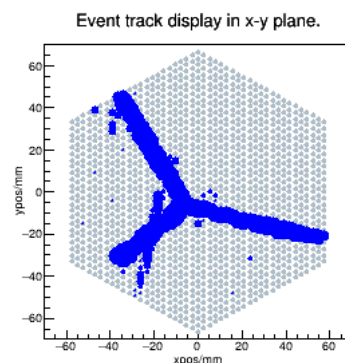
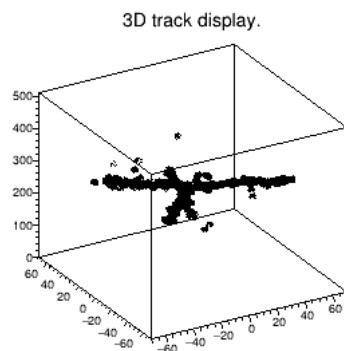
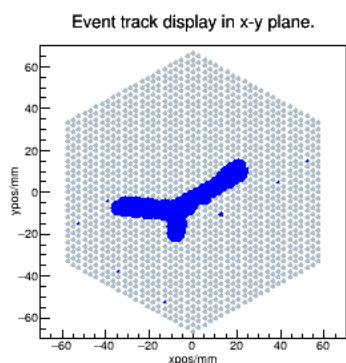
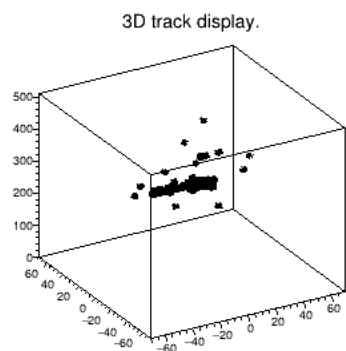


图2 (在线彩图) 4.5 MV 静电加速器实验室整体布局示意图



中子核反应实验测量

- 其他复杂反应道:



报告内容

- 项目概况
- 探测器研制
- 物理实验
- **程序框架**
- 报告总结

模拟程序框架

Bluet Geant4 Application:

Shared object:

- BluetDetectorConstruction
- BluetPhysicsList

MT modules:

- BluetRunAction
- BluetEventAction
- BluetChamberSD
- **BluetElectronDriftAction**

Singleton: BluetConfig

Private:

<pars>

TGenPhaseSpace

Public:

ReadConfigFile()

GetXXXPars()

BluetConfigFile.cfg

<Det_pars>

<Gas_pars>

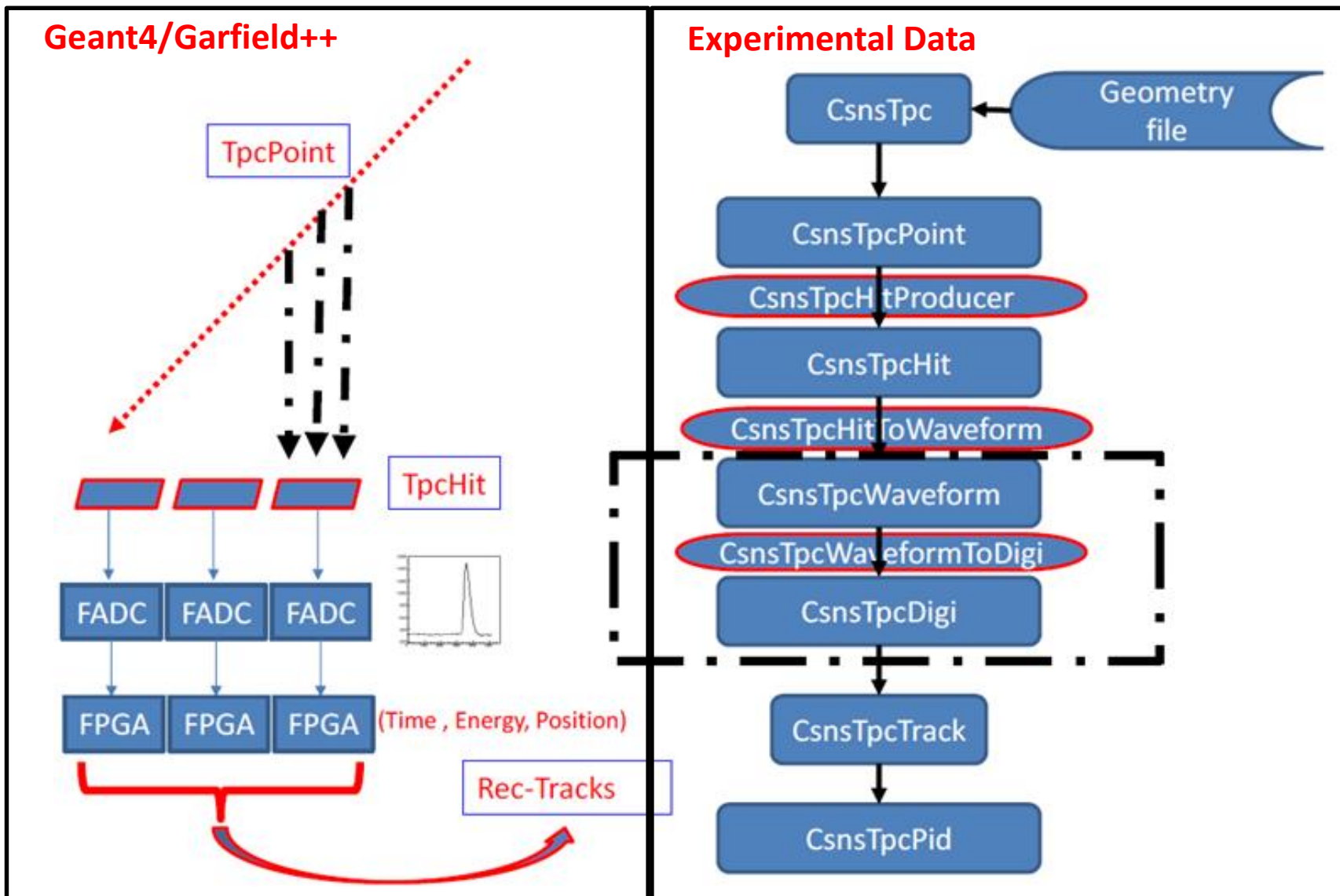
<EveGen_pars>

<Trking_pars>

<PID_pars>

.....

数据分析程序框架



GitLab@IHEP

BLUET-v1.0 Project ID: 315

72 Commits | 1 Branch | 0 Tags | 179.9 MB Files | 179.9 MB Storage

The v1.0 code frame for the Back-n Light charged particle Universal Experimental TPC (BLUET) simulation and data analysis.

master | bluet-v1.0 / +

replace eigen-3.3.4 with the latest eigen-3.3.9
yangli@ihep.ac.cn authored 6 days ago

50a34548

README | Add LICENSE | Add CHANGELOG | Add CONTRIBUTING | Enable Auto DevOps | Add Kubernetes cluster | Set up CI/CD

Name	Last commit	Last update
BluetAna	free the memory	1 month ago
BluetConfig	Merge branch 'master' of http://code.ihep.ac...	1 month ago
BluetSim	add the root-config command into the cmak...	1 month ago
BluetWork	correct readme and how to deal with real-data	1 month ago
Demo	replace eigen-3.3.4 with the latest eigen-3.3.9	6 days ago

Doxygen

BLUET 2.0

Main Page | Classes | Files

Class List

Here are the classes, structs, unions and interfaces with brief descriptions:

BluetActionInitialization	Action initialization class
BluetChamberHit	
BluetChamberSD	
BluetConfig	
BluetDetectorConstruction	Detector construction class to define materials and geometry
BluetDigi	
BluetDigiToTrack	
BluetElectronDriftAction	
BluetEmCalorimeterHit	
BluetEmCalorimeterSD	
BluetEventAction	Event action class
BluetFourierFilter	
BluetHough	
BluetHough3D	
BluetModule	
BluetPadMaster	
BluetPID	
BluetPointCloud	
BluetPrimaryGeneratorAction	The first primary generator action class
BluetRawToWaveform	
BluetRunAction	Run action class
BluetSphere	
BluetTrack	
BluetTrackMaster	
BluetVector3d	
BluetWaveFit	

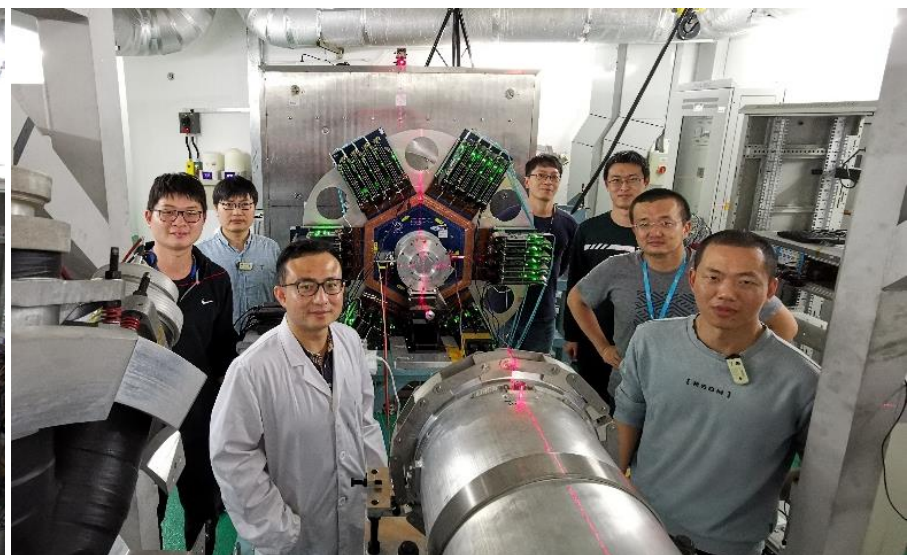
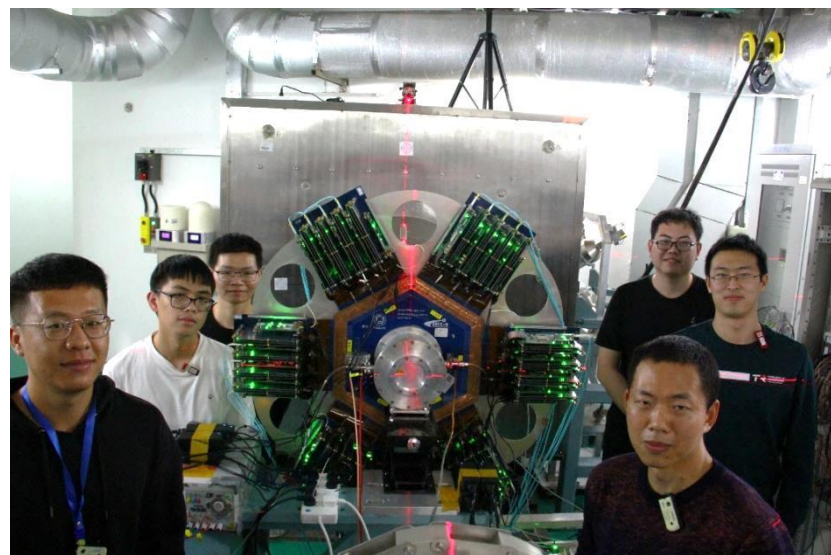
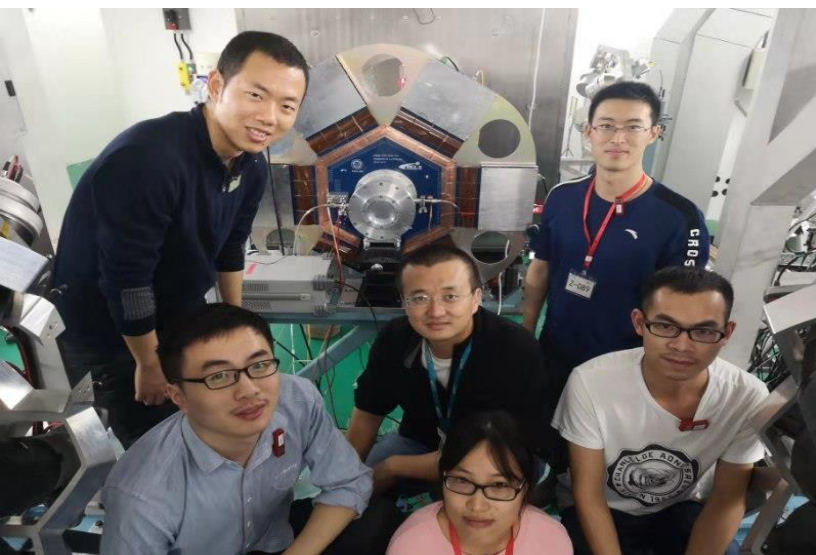
程序框架

- 程序框架开发成员:
- Simulation
 - Geant4: Yi Han, Fan Ruirui
 - Garfield++: Yi Han
 - Event Generator: Jiang Wei & PKU group
- Waveform Analysis: Chen Yonghao & Yi Han
- Track Reconstruction: Li Yang
- PID: Yi Han and Sun Yankun
- Software Framework: Sun Yankun
- Event Display: Li Yang

报告内容

- 项目概况
- 探测器研制
- 物理实验
- 程序框架
- 报告总结

- CSNS白光中子源TPC已完成原型探测器的制作;
- 进一步开展探测器刻度、模拟和数据分析工作;
- 继续探测器的改进和电子学的升级工作;
- 继续开展基于TPC的物理实验。



~谢谢~