

活性靶TPC研制进展

中科院近代物理研究所

活性靶TPC研制团队

鲁辰桂

主要内容

物理背景介绍

TPC几何结构

几何结构

场笼设计与模拟

电子学及数据分析

实验测试

激光测试

α 源测试

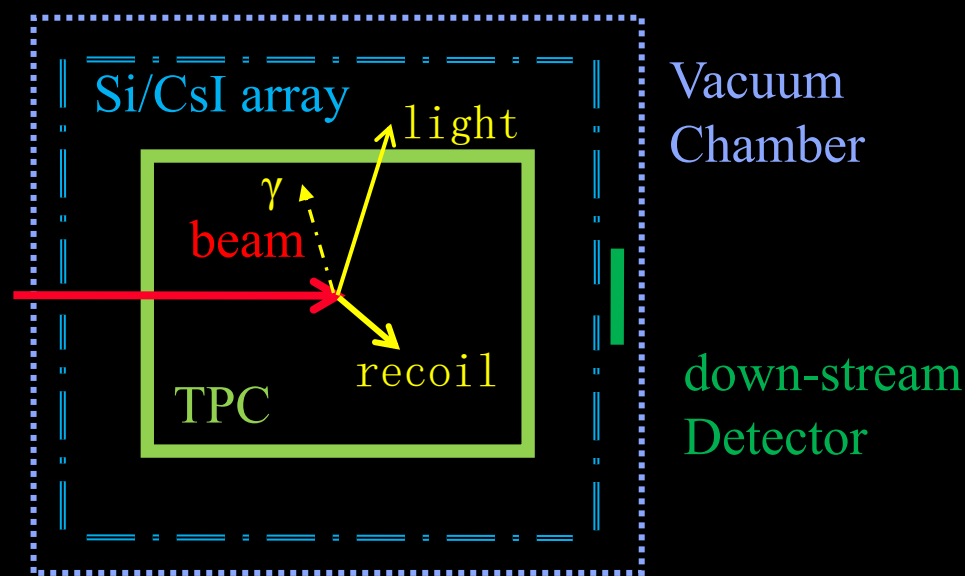
束流测试

物理背景简介

天体环境中关键核过程研究 重大研究计划子课题支持

- ✓ $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$
@ 0.5~3MeV 截面 < nb 低本底
- ✓ CNO突破反应: (α, p) (α, γ)
@ 10^5pps 出射粒子角度及反应点位置
- ✓ 丰中子熔合反应: $^{200}\text{O}+^{16}\text{O}$
@ 2~12MeV 大范围熔合截面
- ✓

Multi-purpose Active-target
Time-projection-chamber for nuclear
astrophysics Experiments (**MATE**)



Active target TPC principle of layout

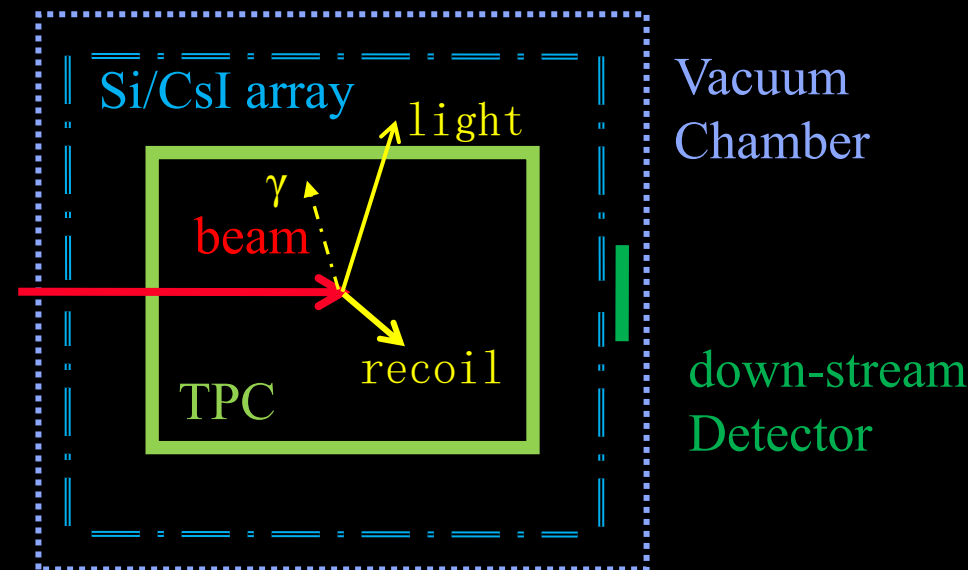
实验对TPC的要求

对探测器的要求:

- ✓ 4π 立体角探测
- ✓ 高探测效率
- ✓ 高空间分辨 (1.5mm) 及角度分辨
- ✓ 高亮度
- ✓ 工作气压可调

场笼设计要求:

- ✓ 对束流遮挡小
- ✓ 对E探测器无遮挡
- ✓ E或 γ 探测器提供尽量大的覆盖立体角
- ✓ 保证探测器之间相互无影响



Active target TPC principle of layout

TPC几何结构

双层THGEM读出厚度0.2mm

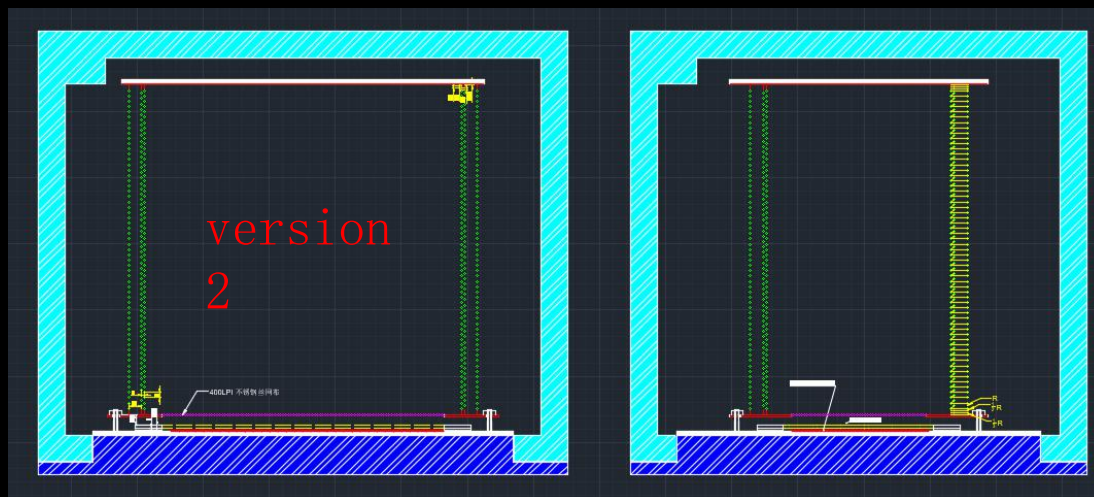
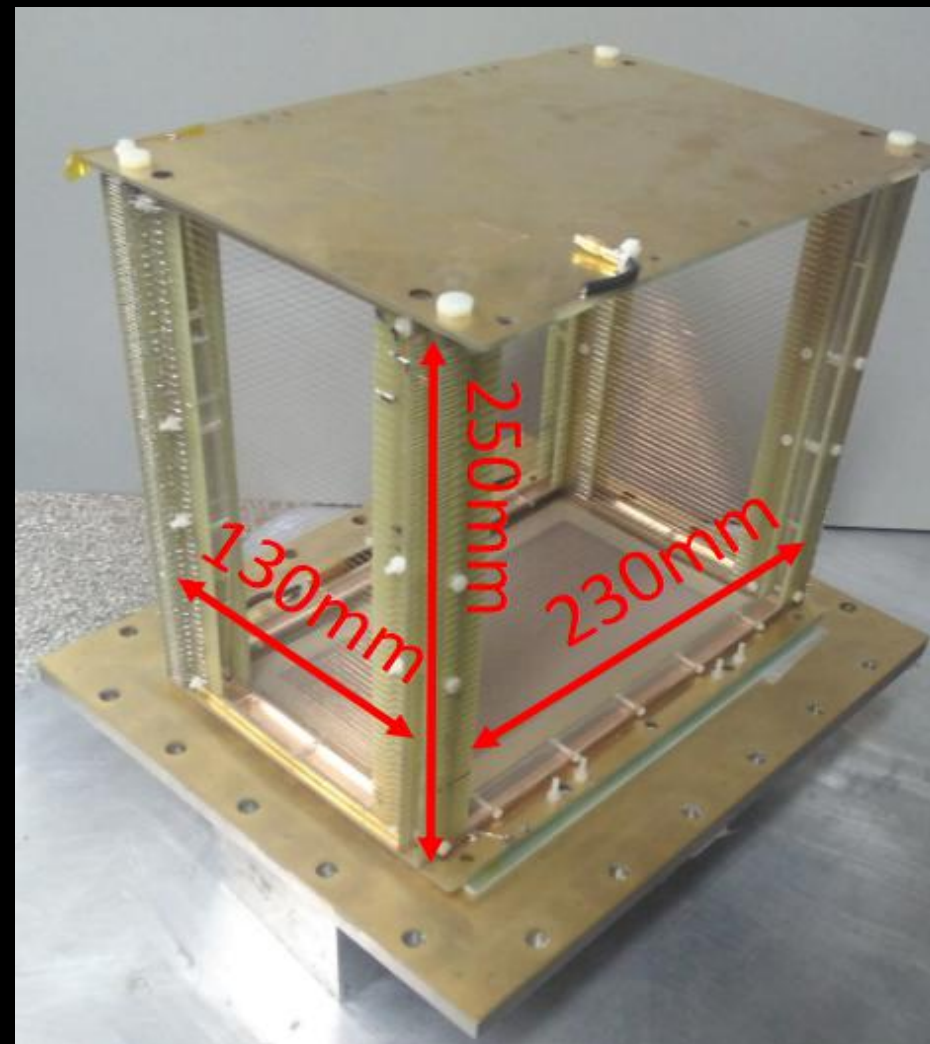
灵敏体积 $10\text{ (W)} \times 20\text{ (L)} \times 25\text{ (H)}\text{ cm}^3$

矩形pad $3.1 \times 6.2\text{ mm}^2$ 共1024路

场笼 3层钽铜丝 ($\Phi 70\text{ }\mu\text{m}$) 组成

工作气体P10/He+CO₂(10%)/C₄H₁₀/...

气压 30mbar ~ 1atm 可调



场笼几何结构

场笼设计:

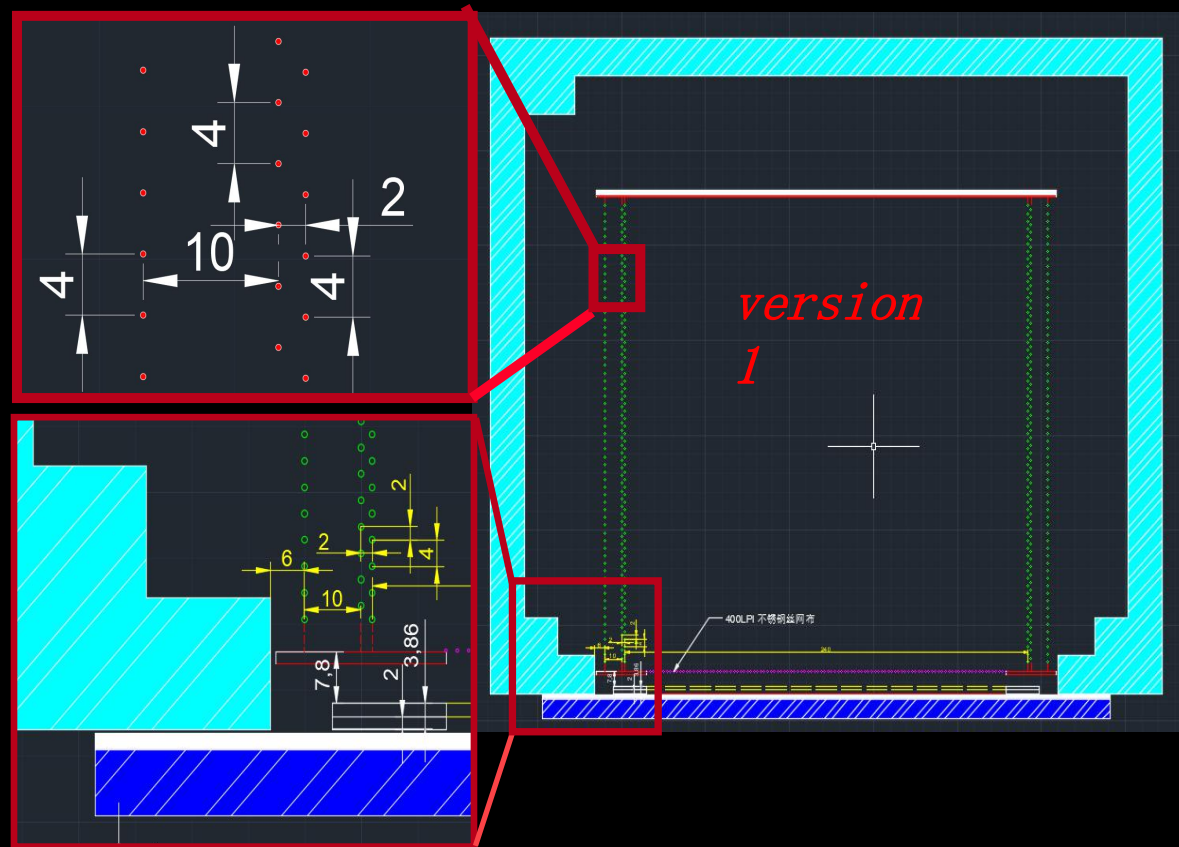
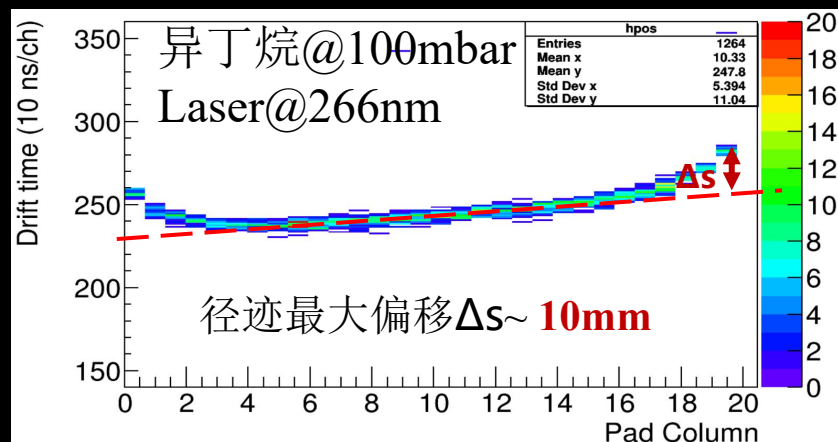
内外两层丝平行排布距离12mm

中间丝与内层丝错位排布距离2mm

竖直方向相邻丝距离4mm

场笼外侧距离靶室侧壁40mm

场笼内测距离灵敏区域15mm



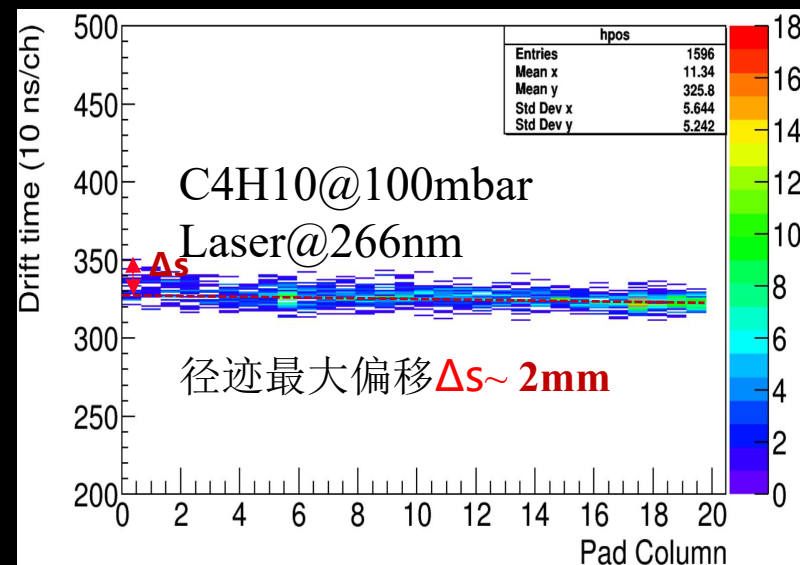
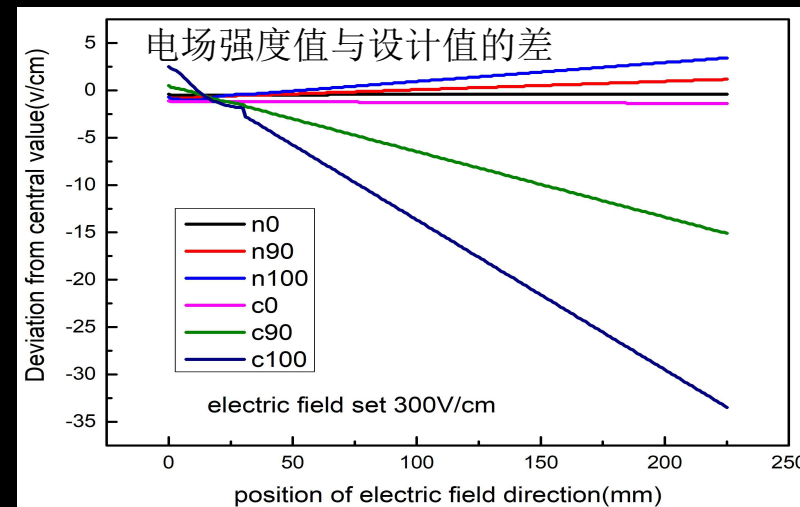
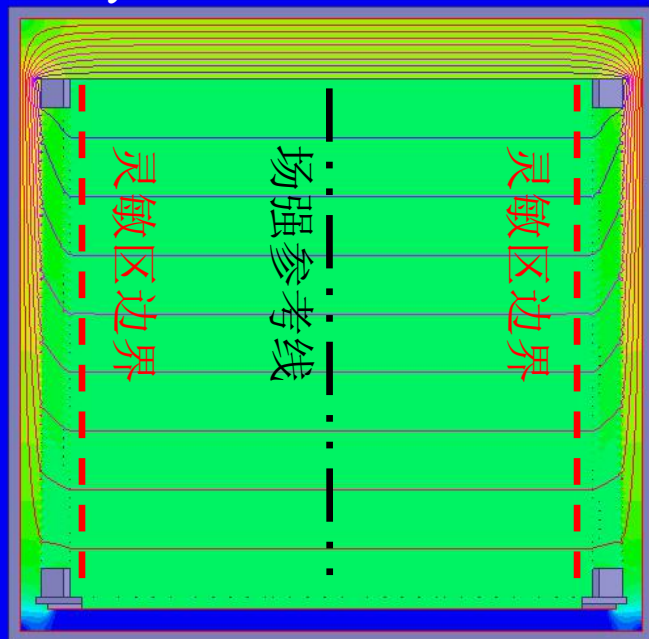
靶室钢结构棱角严重影响电场分布

改进： 有效的避开了靶室内部金属棱角

场笼有限元模拟

Ansys模拟金属棱角导致电场除中心
区域±5cm外形成畸变
改进后灵敏区边沿电场强度 $\Delta E/E < 2\%$

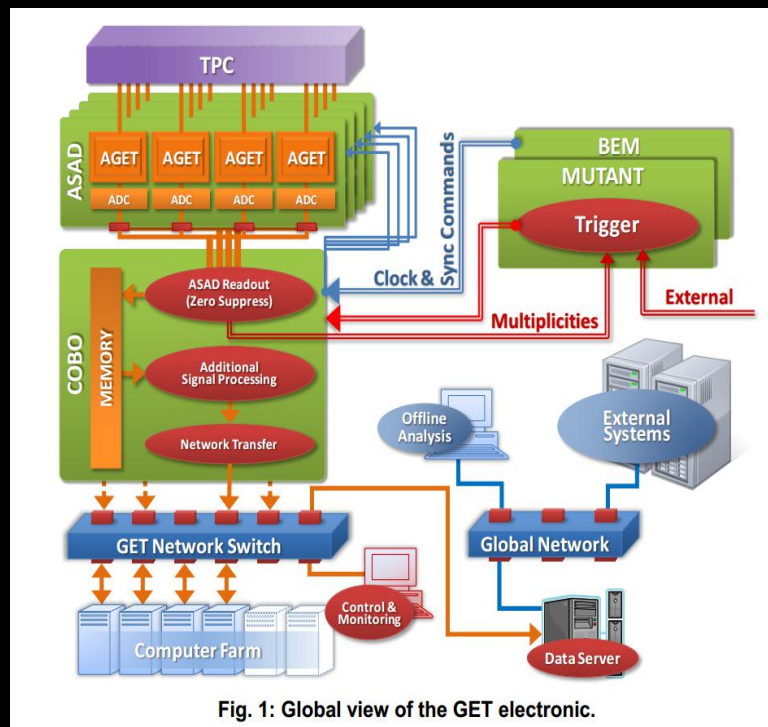
Ansys模拟的电场等势线分布



电子学及数据分析

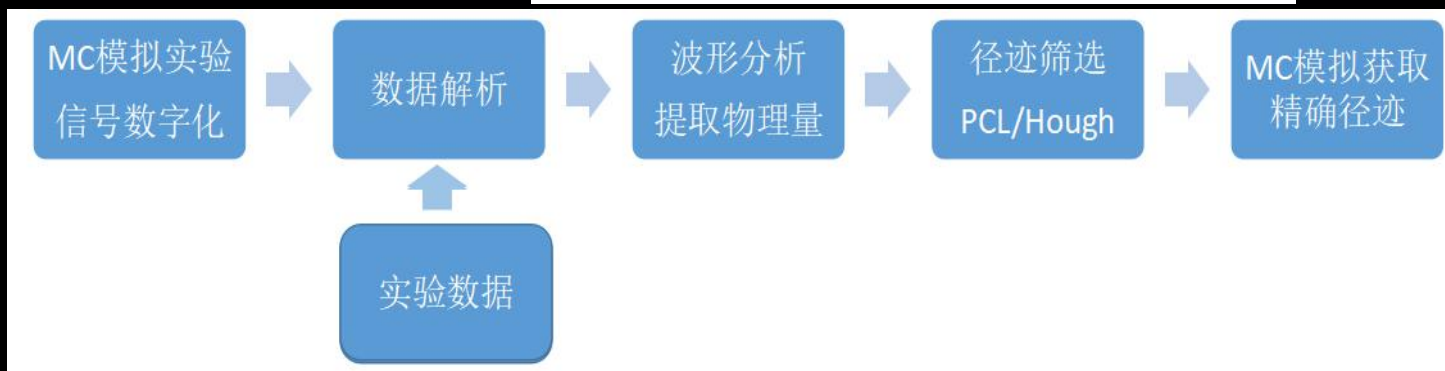
AGET 波形采样电子学

- 增益可调120fC、240fC、1pC、10pC
- 最大获取数据量：500 MB/s（共4块CoBo）
- 每个事件约90块Pad点火，最大计数率~2000Hz
- ✓ AGET电子学已经完成4096路调试

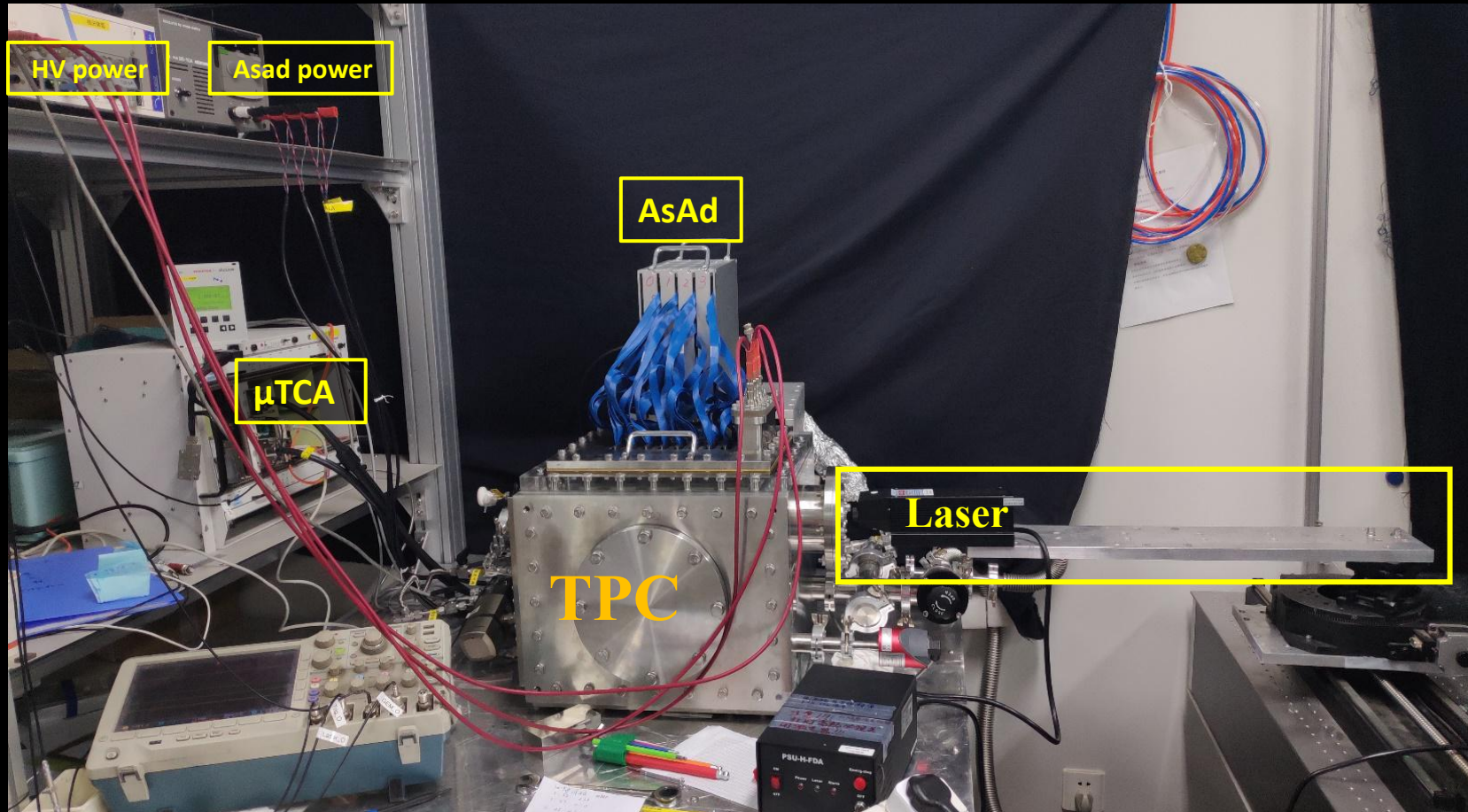


数据分析软件

- 基于ROOT & Geant4
- ✓ 可完成10000路TPC径迹分析
- ✓ 集成核物理实验的模拟分析



实验室测试平台



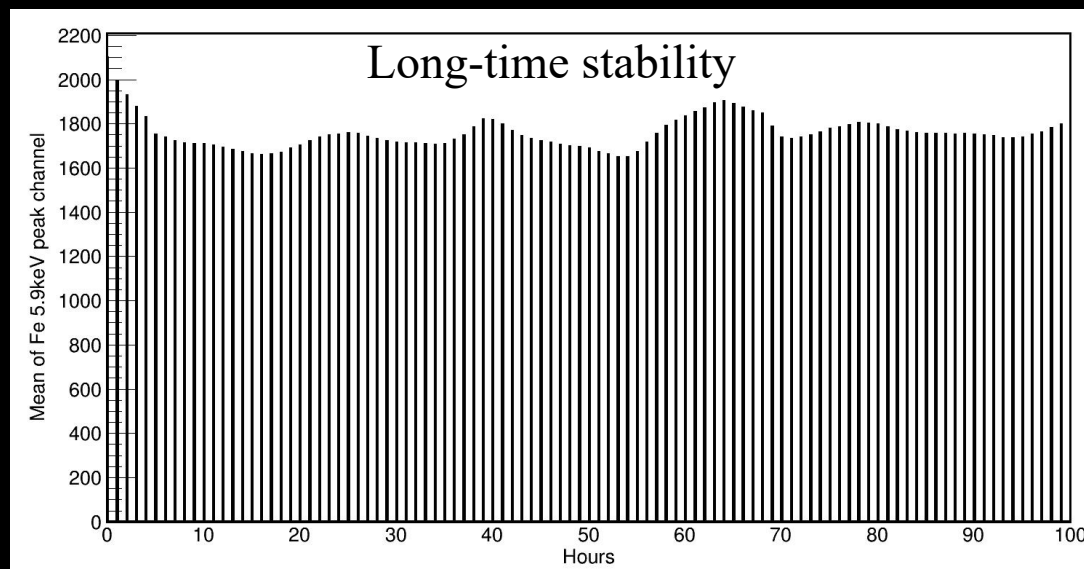
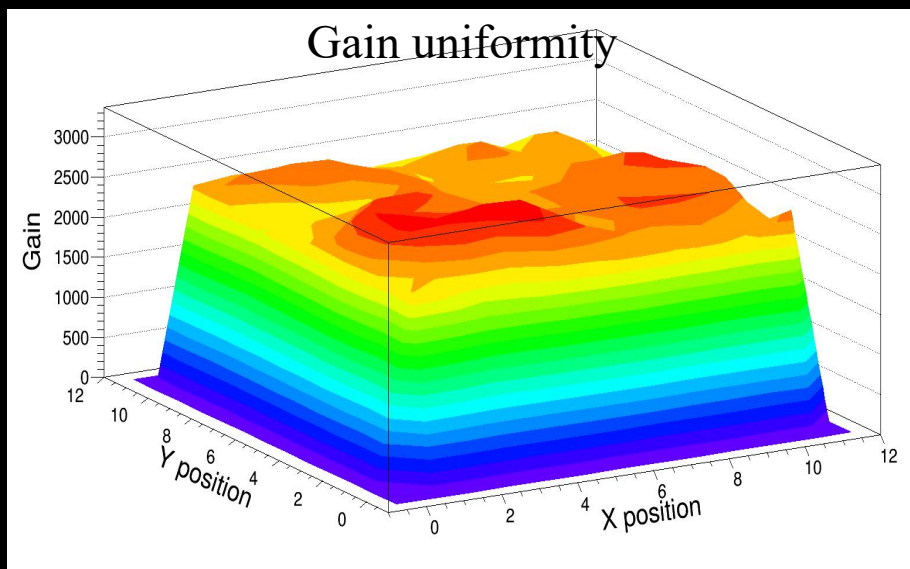
放射源测试 THGEM基本性能

P10@ 1atm 流气 ^{55}Fe @5.9keV

扫描121个点THGEM增益一致性好于8%

连续工作10天，每天采集数据8小时5.9keV峰位晃动小于12%

✓ THGEM 性能已经满足TPC研制需求



激光刻度

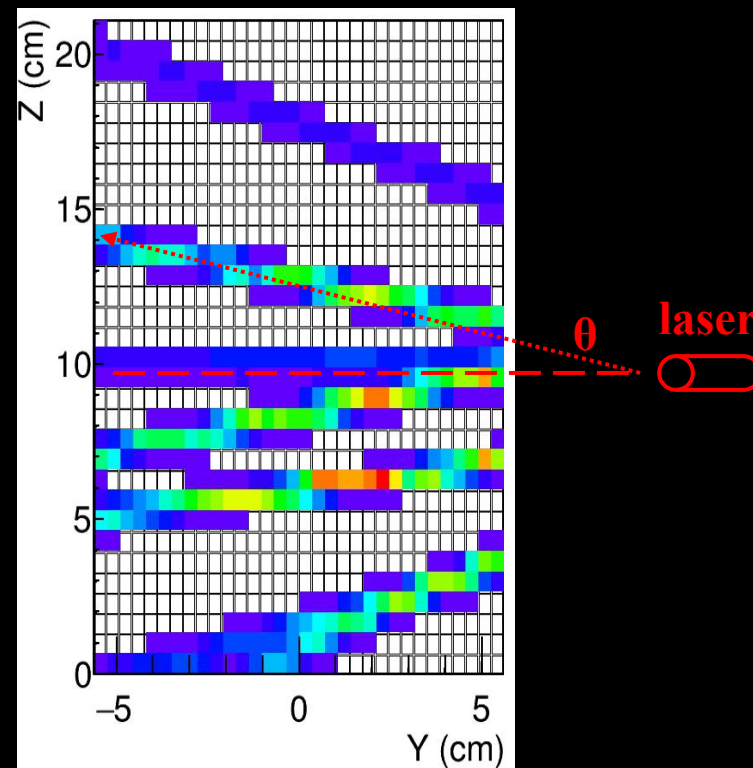
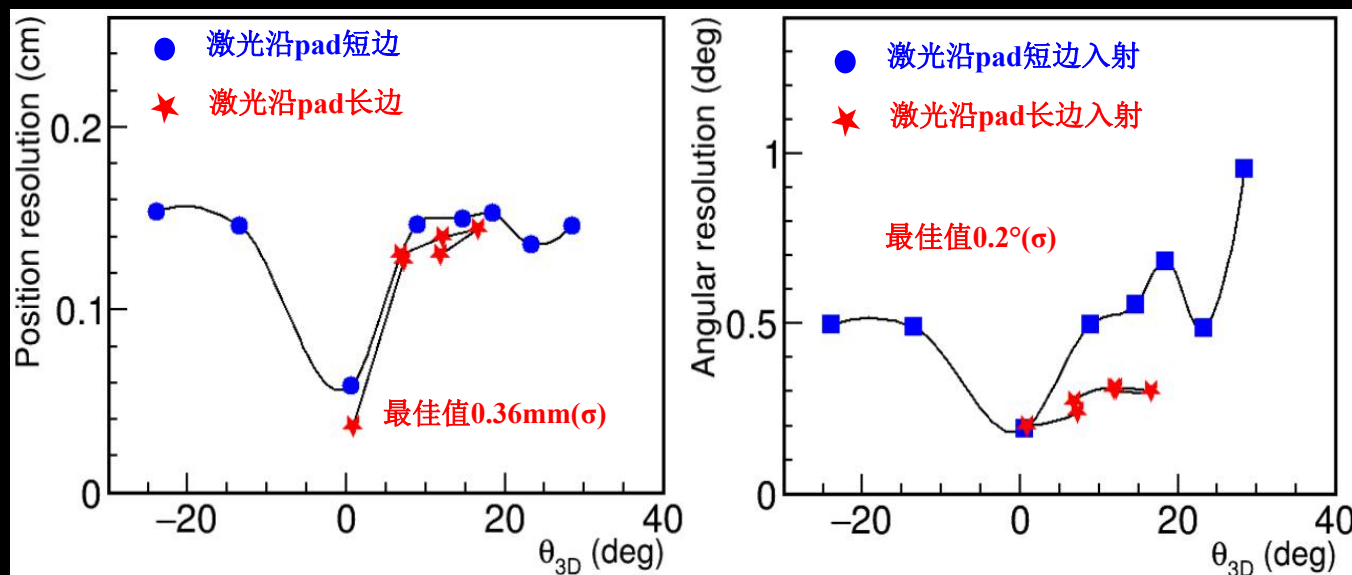
分辨测试

266nm激光@ 1mm束斑 C4H10 @ 50mbar

对激光径迹三维线性拟合

点火径迹与拟合曲线做残差得到位置分辨

利用拟合曲线得到角度分辨



α 源刻度

增益一致性

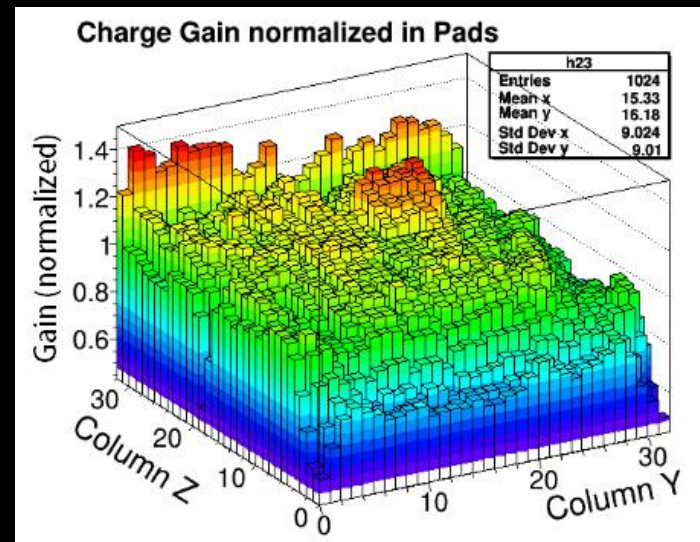
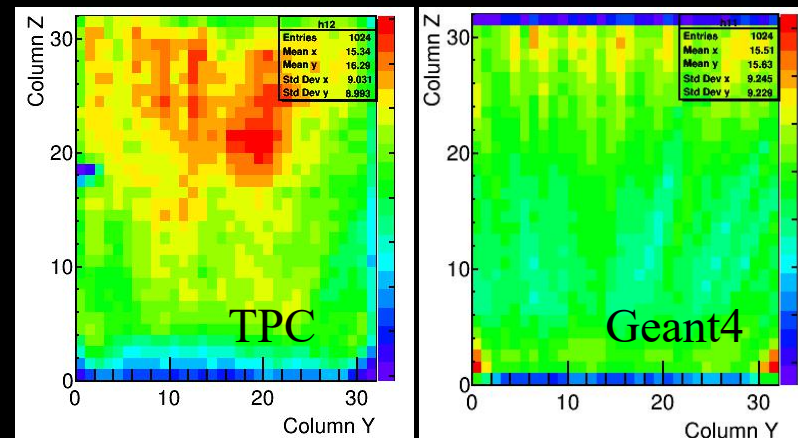
P10 @ 80mbar 电场40V/cm

^{239}Pu 在TPC内每个读出pad平均电荷沉积

Geant4模拟出相应读出pad平均初级电离电荷

$$\text{Gain} = \frac{\text{TPC获取的电荷数}}{\text{Geant4模拟的原初电离电荷数}}$$

包含了THGEM、AGET以及电子在漂移过程中的损失表征了TPC整体的增益一致性



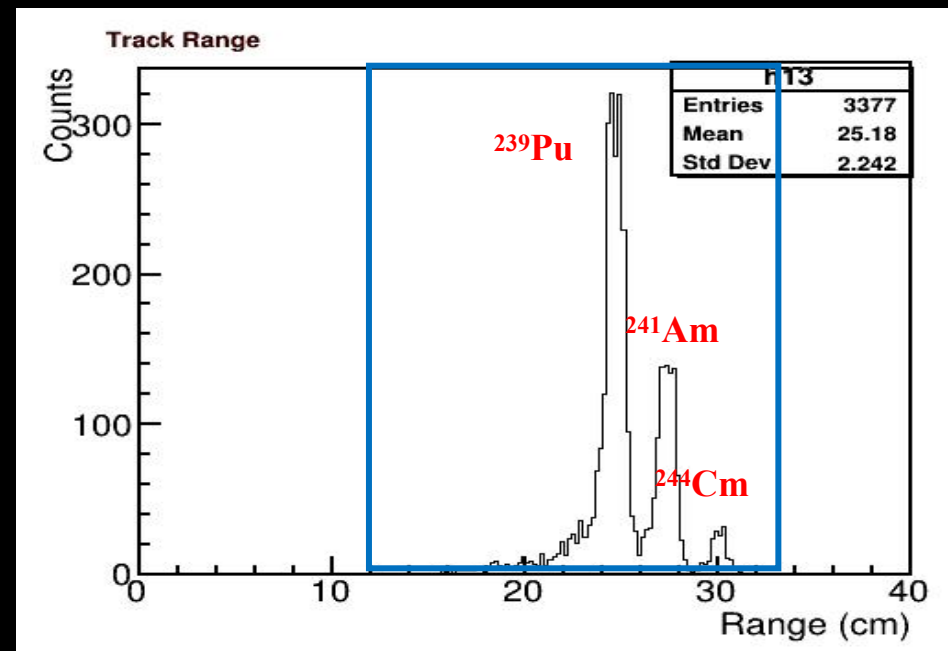
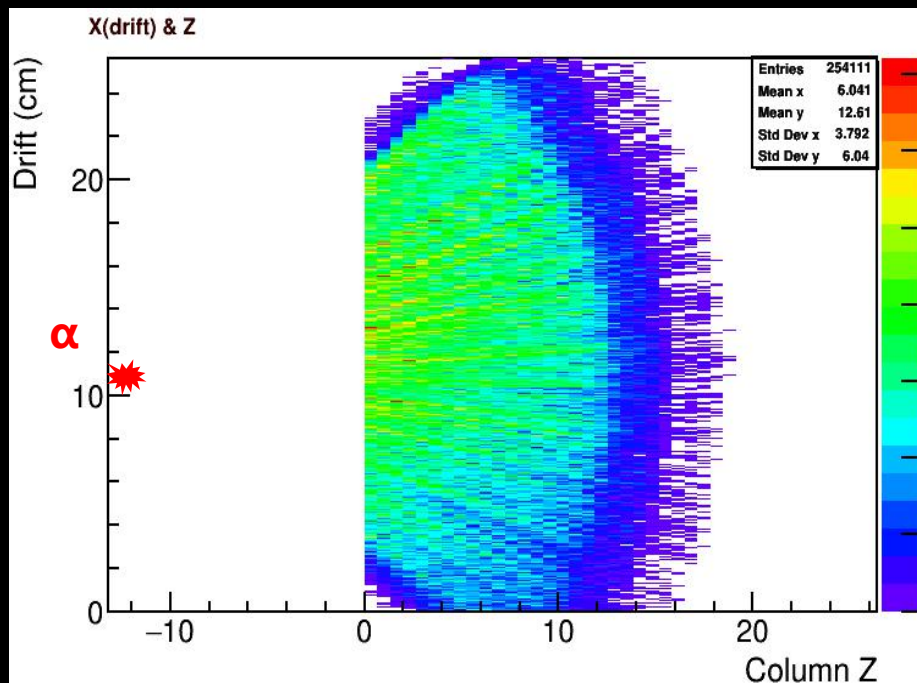
α 源刻度

射程分辨

异丁烷@55mbar 电场50 V/cm

α 粒子径迹长度代表总能损

✓ 射程分辨 $\sigma < 2.0\%$



Triple-alpha source	^{239}Pu	^{241}Am	^{244}Cm
Energy(MeV)	5.157	5.486	5.805
Range Resolution(σ)	2.0%	1.7%	1.6%

束流测试

$^{16}\text{N}+^{12}\text{C}$ 熔合@RIBLLI

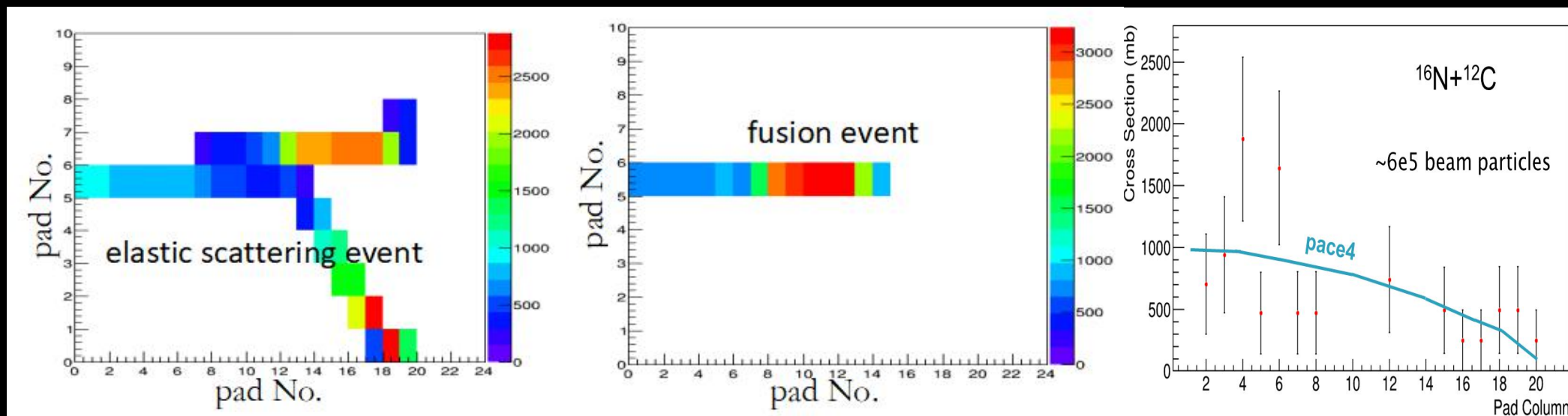
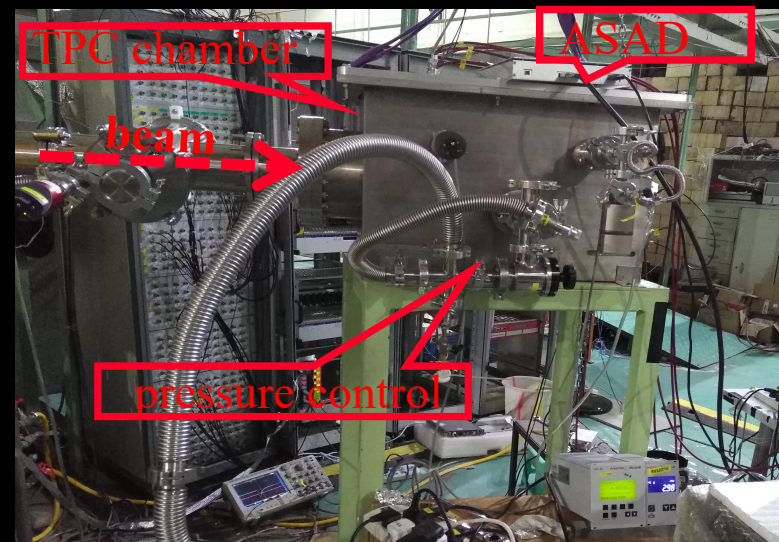
$^{16}\text{N}@83\text{MeV}$ 1000cps 约10分钟

$\text{C}_4\text{H}_{10}@100\text{ mbar}$

256路TPC, pad $8\text{mm}(\text{w}) \times 10\text{mm}(\text{l})$

Rcobo & GetECC

✓ 三维径迹有效的区分熔合与弹散射事件



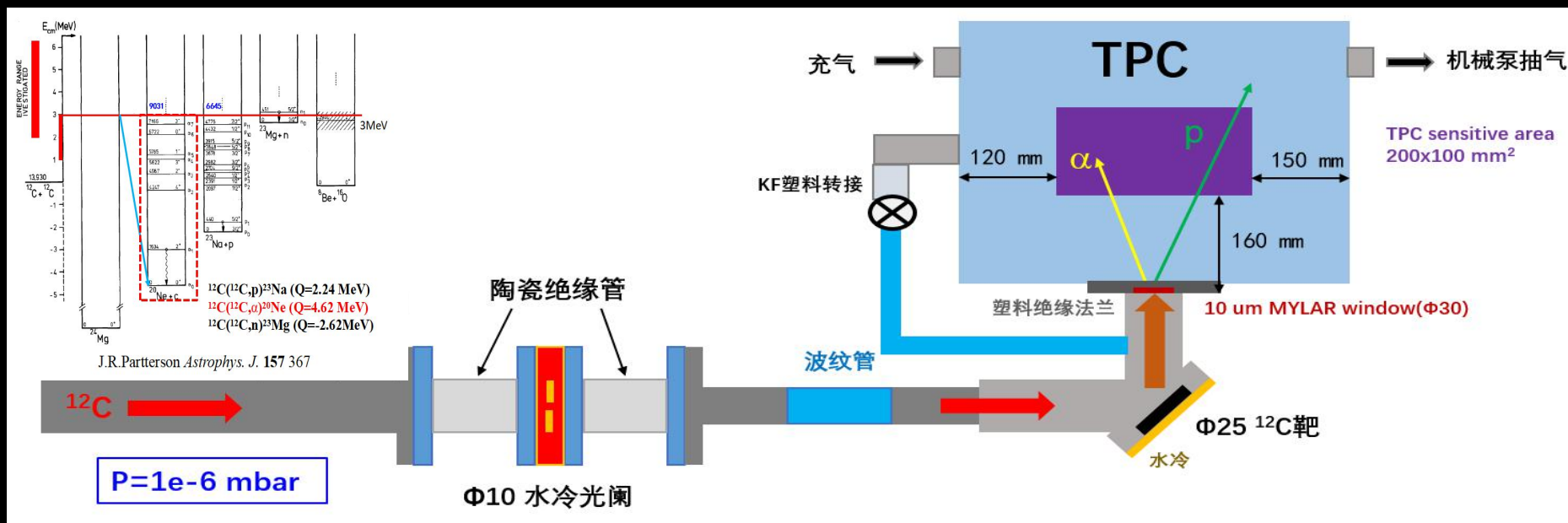
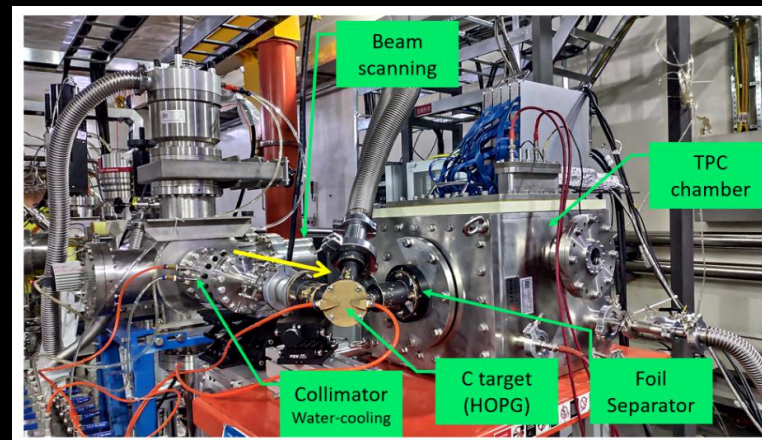
束流测试 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \alpha)^{20}\text{Ne}$ @LEAF

P10@100~200 mbar

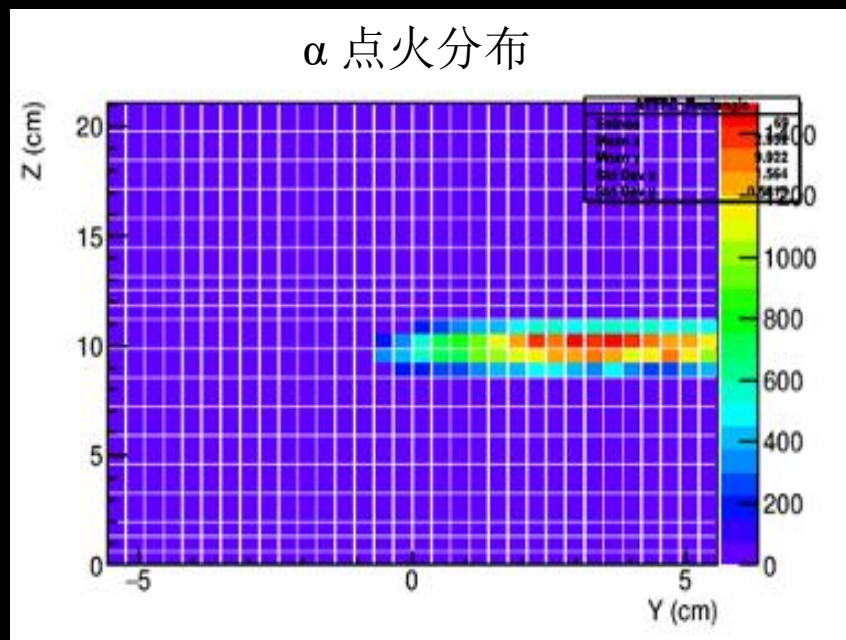
束流 $^{12}\text{C}^{4+}$ 0.5MeV/u@100e μA

出射的 α 能量 5~7MeV

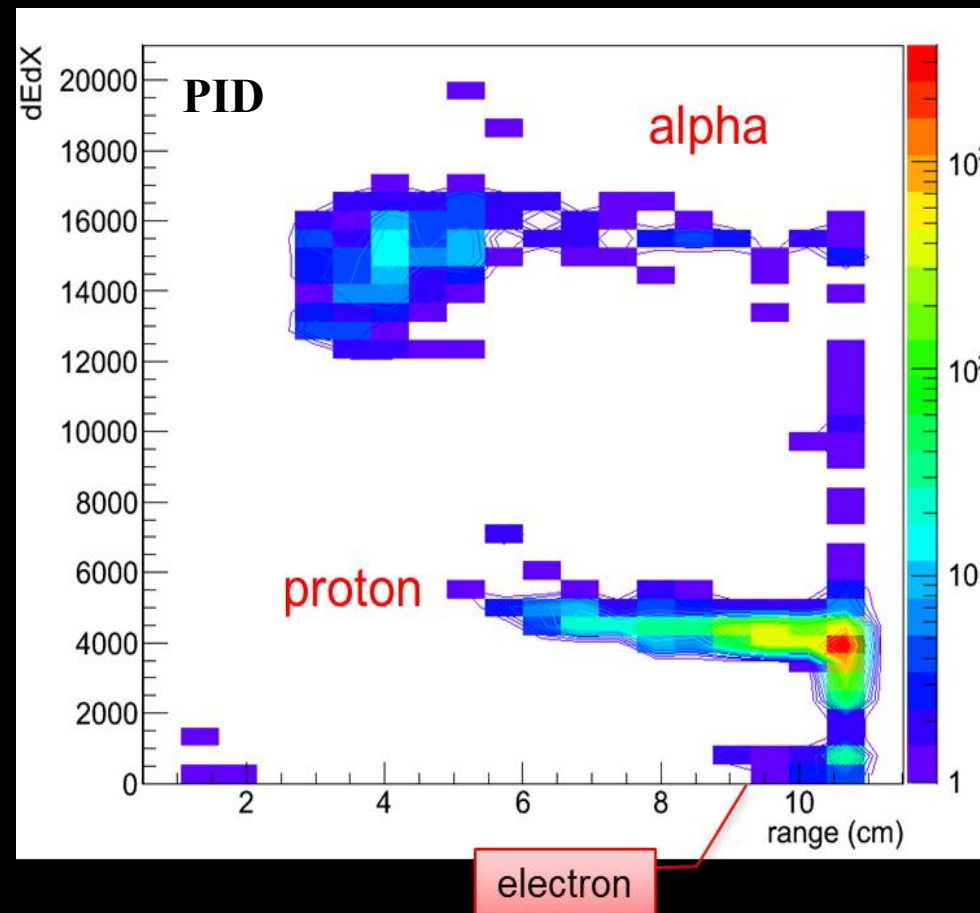
探测立体角0.3%



束流测试 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \alpha)^{20}\text{Ne}$



- ✓ 全新的实验设计
- ✓ 清晰的粒子鉴别
- ✓ 有效的筛除本底



总结与展望

- ✓ 活性靶TPC为核物理实验提供了新的技术方案
- ✓ 1024路TPC初步满足实验需求
- 发展4096路TPC
- 进一步提高性能(射程分辨、角度分辨等)
- 解决高计数率难题
- 与E探测器及 γ 探测器组合完善实验技术

活性靶TPC研制团队

物理实验

唐晓东 张宁涛 胡 均 张志超 茹龙辉 王新雨

电子学

千 奕 赵红赞 蒲天磊

软件平台

张宁涛 张金龙 路 坦

探测器

段利敏 胡荣江 鲁辰桂 张志超

谢谢!