



Back-n多用途TPC方案设计

樊瑞睿 封常青

高能所、中科大

2019/9/17 北京

内容提纲



- CSNS白光中子源简介
- TPC研制背景
- TPC方案设计
- TPC研制计划

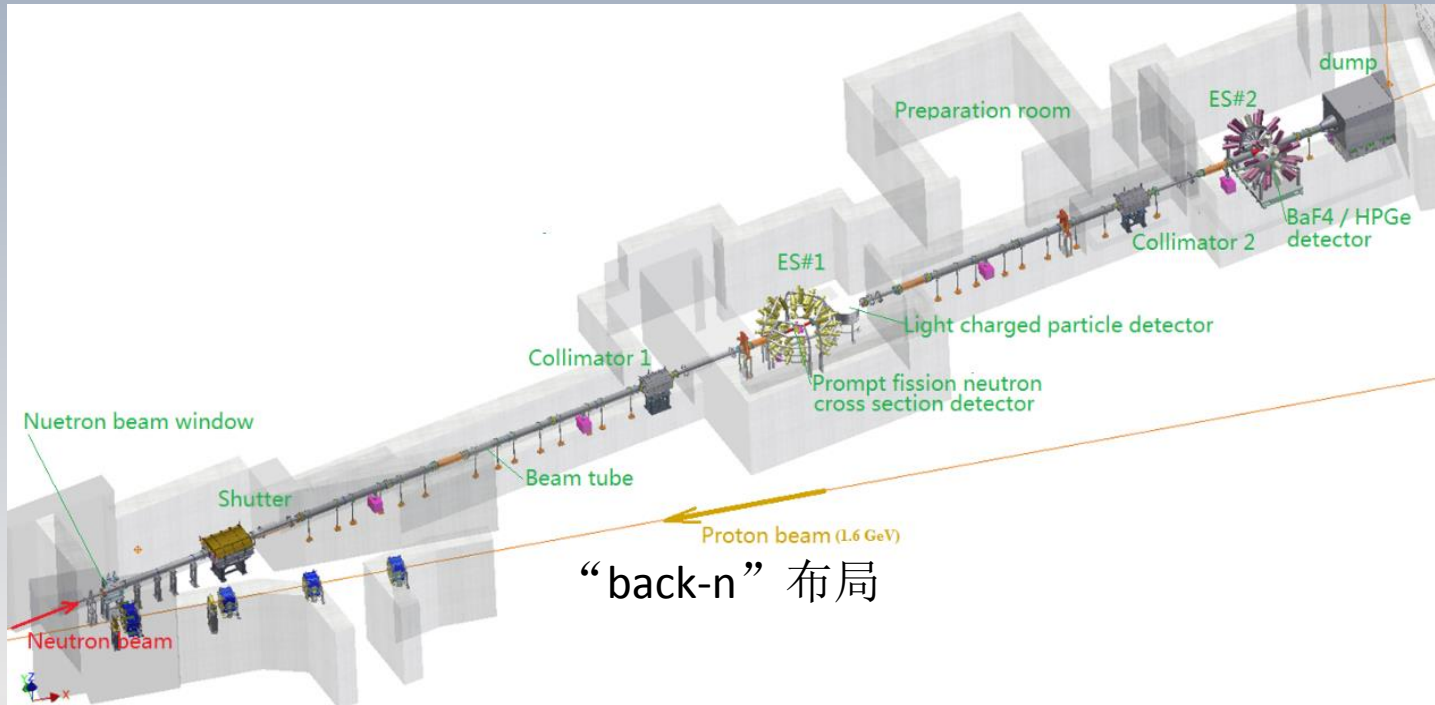
白光中子源背景介绍

- 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



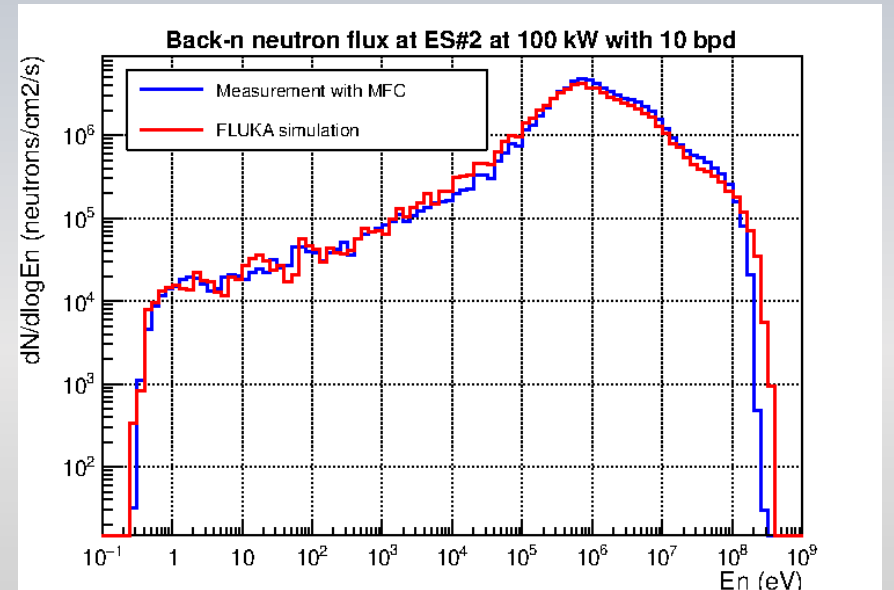
2018年1月22日至2018年12月31日，共完成38项不同实验。提供束流时间（包括并行实验时间）为4021小时。

“Back-n” 白光中子源



“back-n” 布局

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

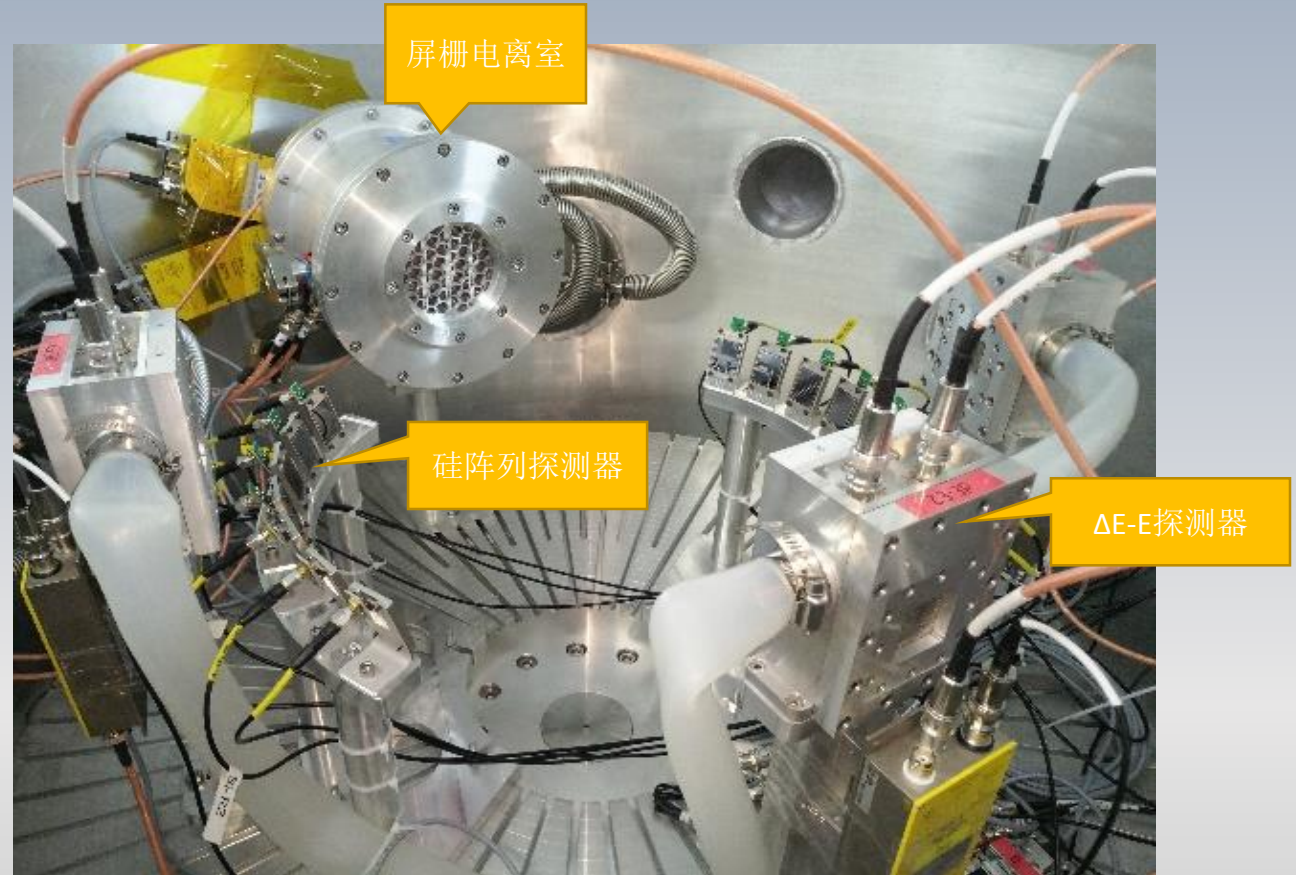


束线通过TOF方法确定中子能量，分别设定两个实验厅，厅一中子飞行距离约55m，厅二约80米。中子能谱分布在热中子到200MeV，通量最高 6×10^7 n/cm²/s。

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

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



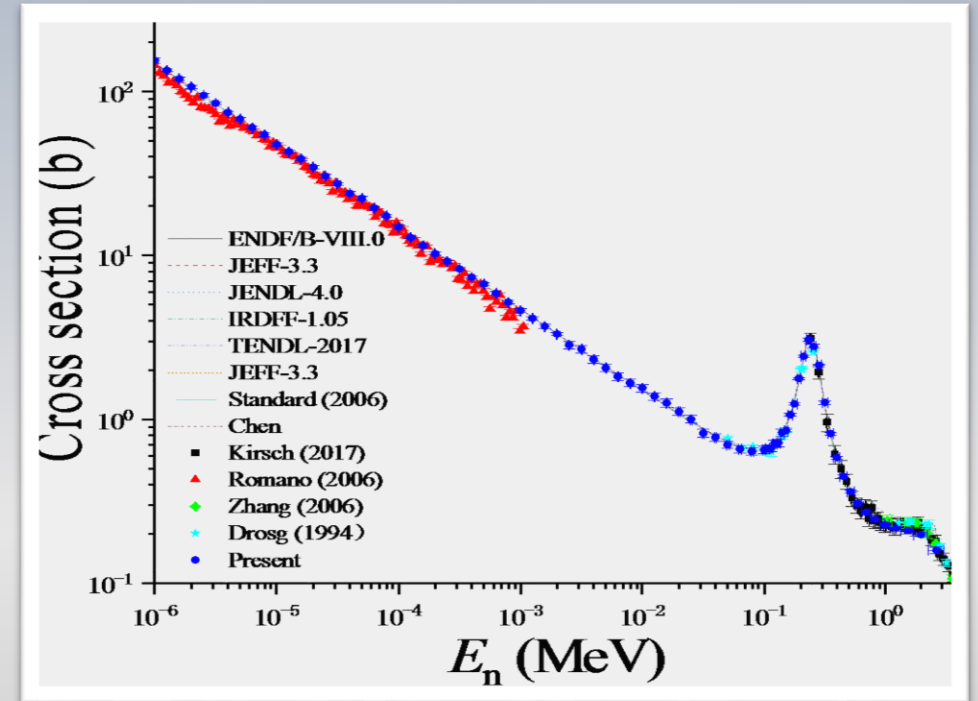
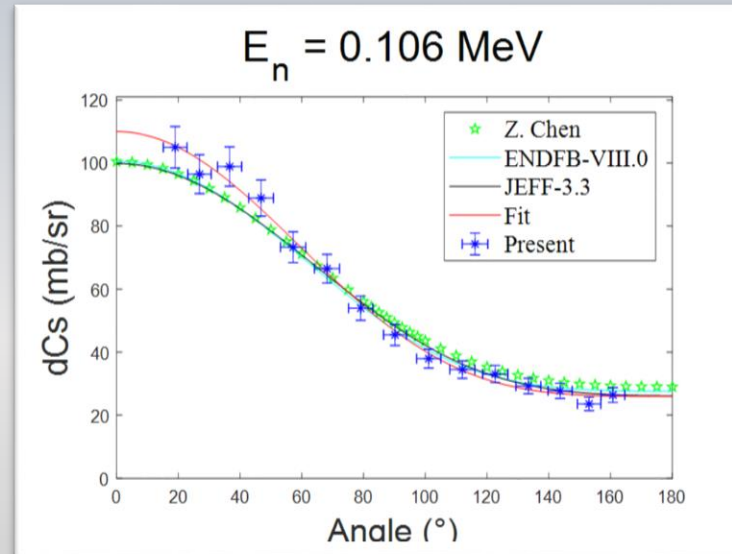
带电粒子探测器要求:

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

首批物理实验结果

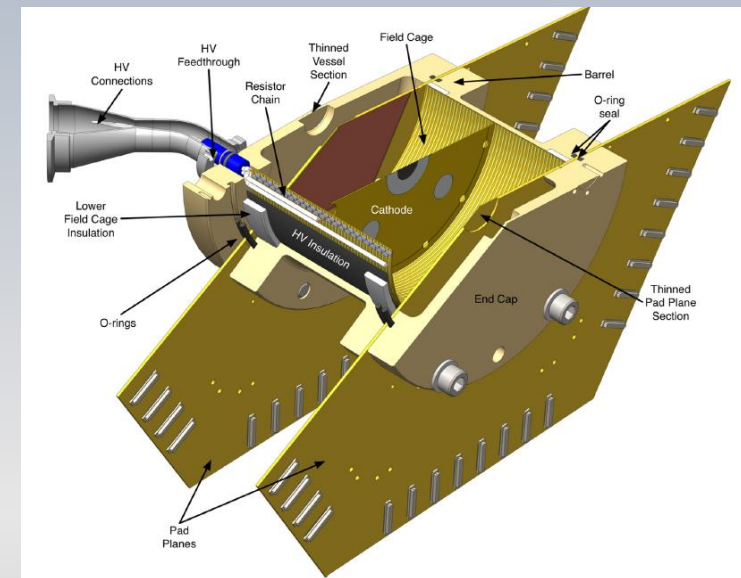
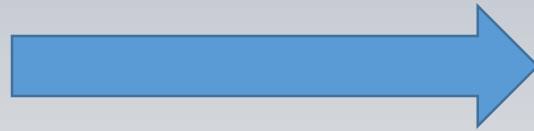
- ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$ 于2018年7月完成了实验
- 得到了77个能点微分截面（国际首次）
- 积分截面与标准界面符合

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）



遇到的问题

- 立体角过小
 - 北京大学提出 4π 探测器方案
 - 401提出大面积硅阵列方案
- 粒子鉴别阈值
 - 没有解决



白光中子源上使用的TPC

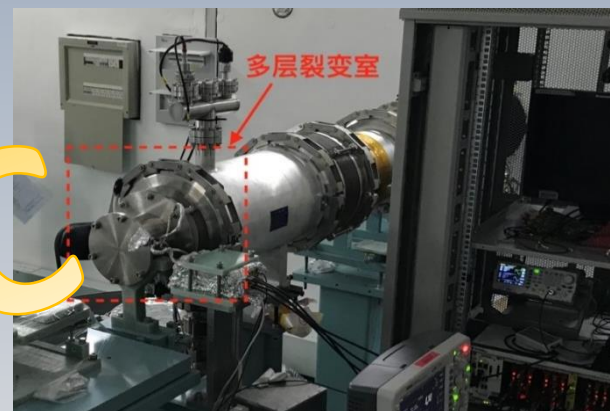
TPC还可以解决的问题

- 白光中子源主要开展的带电粒子测量实验：
 - 轻带电粒子截面测量；
 - 束流特征测量：能谱、剖面、通量；
 - 裂变截面测量；
- 不同实验测量使用不同类型的探测器。

CSNS白光中子源：实验装置

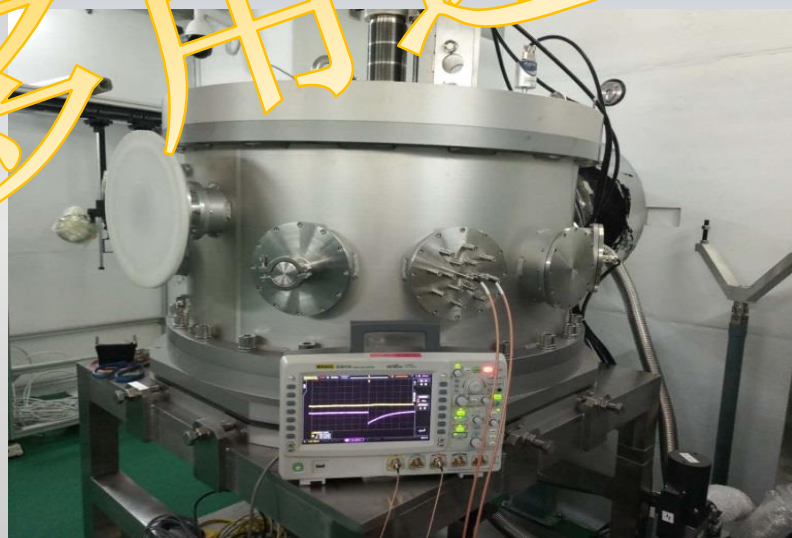


FIXM探测器



能谱测量多层裂变室

多用途TPC



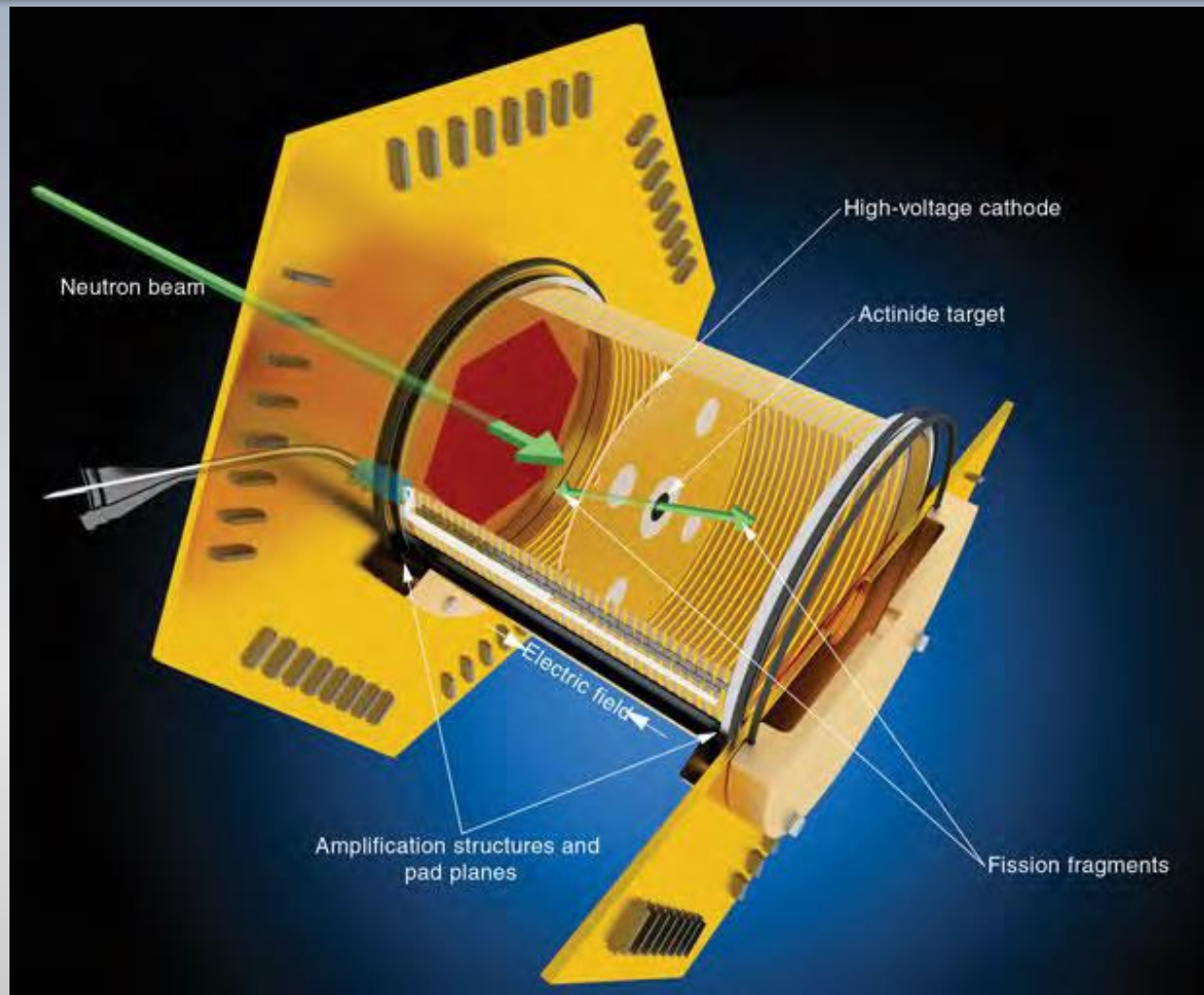
TPC探测器

多用途TPC探测器



- 目标：
 - 带电粒子探测器
 - 束流测量探测器
 - 中子共振照相
 - 裂变截面测量探测器
 -
- 一些基本参数：
 - ✓ 灵敏区面积 $10 \times 10 \text{cm}^2$
 - ✓ 位置分辨率小于 1mm
 - ✓ 读出通道数 20000
 - ✓ 测量粒子种类（质子、alpha、裂变碎片、电子）

TPC的概念设计

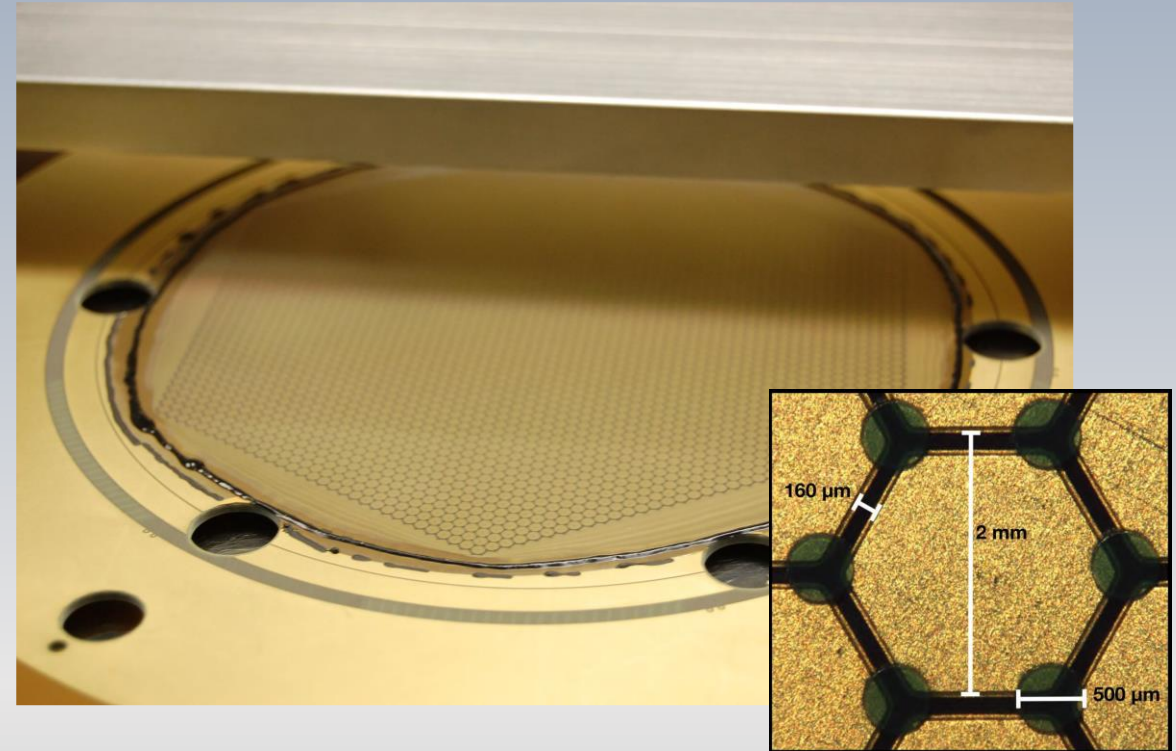


LANSCE FISSION TPC

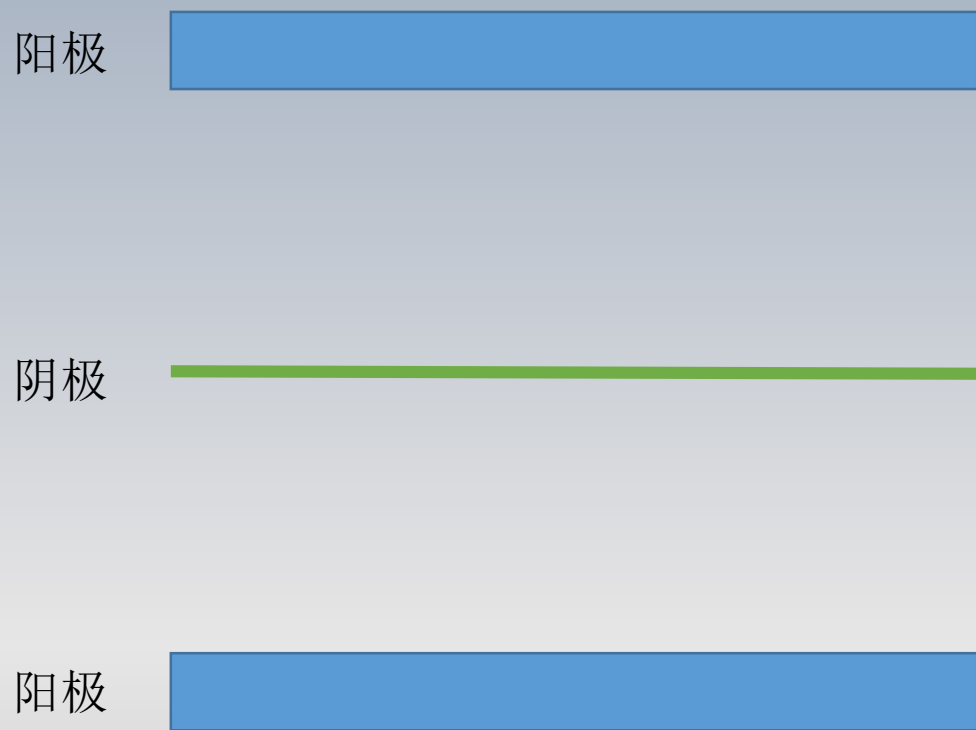


Time Projection Chamber

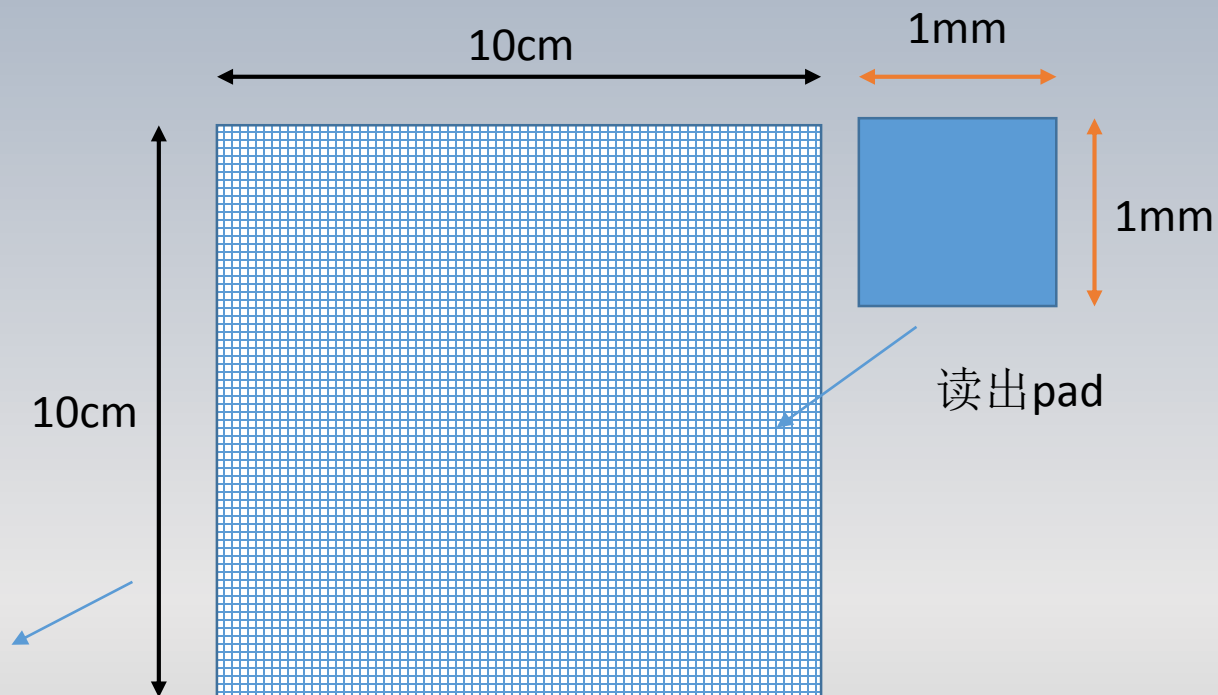
- 2-volumes, 5.4 cm drift length each
- Micromegas charge amplification
- ~3000 channels in each volume
- 50 MHz, 12-bit digitizer
- Central cathode provides
- time-of-flight information
- sampled at 1 GHz
- Operates at LANSCE-WNR 90L beam (Los Alamos National Laboratory)



探测器基本设计思路



探测器结构



读出板结构

工程TPC的读出电子学方案

设计方案:

◇ 前端放大+中速波形采样及FPGA预处理+光纤传输;

◇ 预处理: 零压缩、波形特征信息提取

◇ 通道数: 10000+10000;

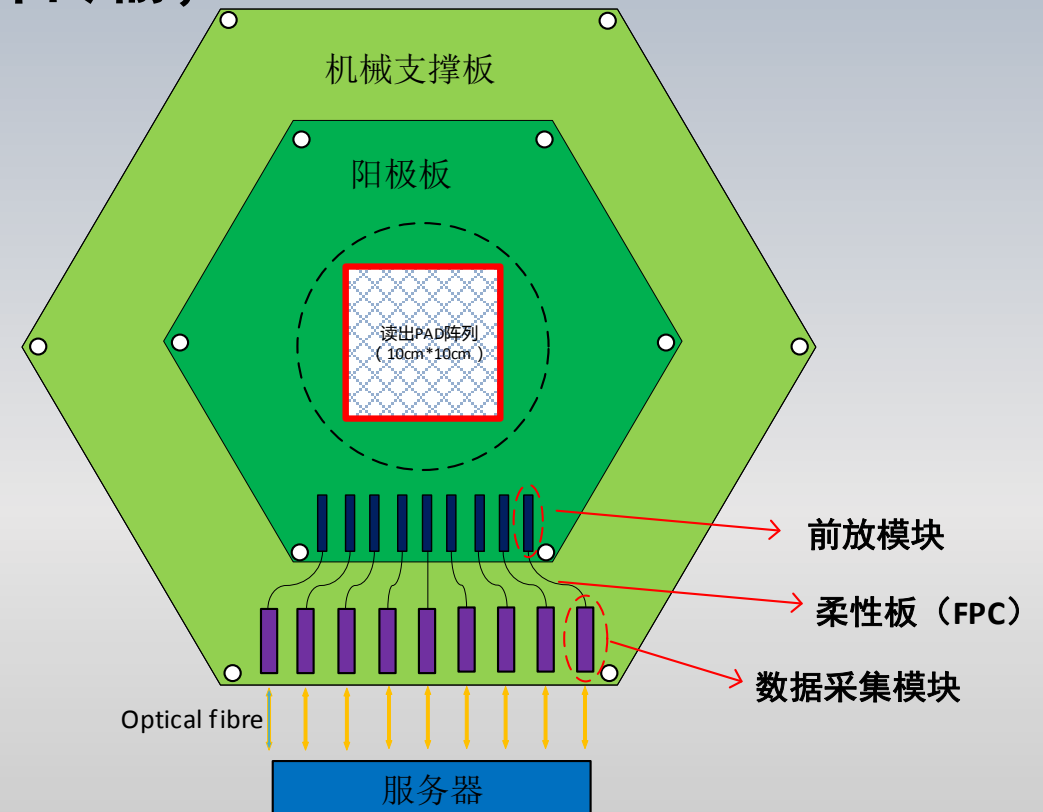
◇ 输入动态范围: 1000;

◇ ADC采样率: 40~50 MSPS

前端电路方案:

◇ 1) 基于分立元件的电荷灵敏前放: JEFT+运放

◇ 2) 低噪声前端读出ASIC



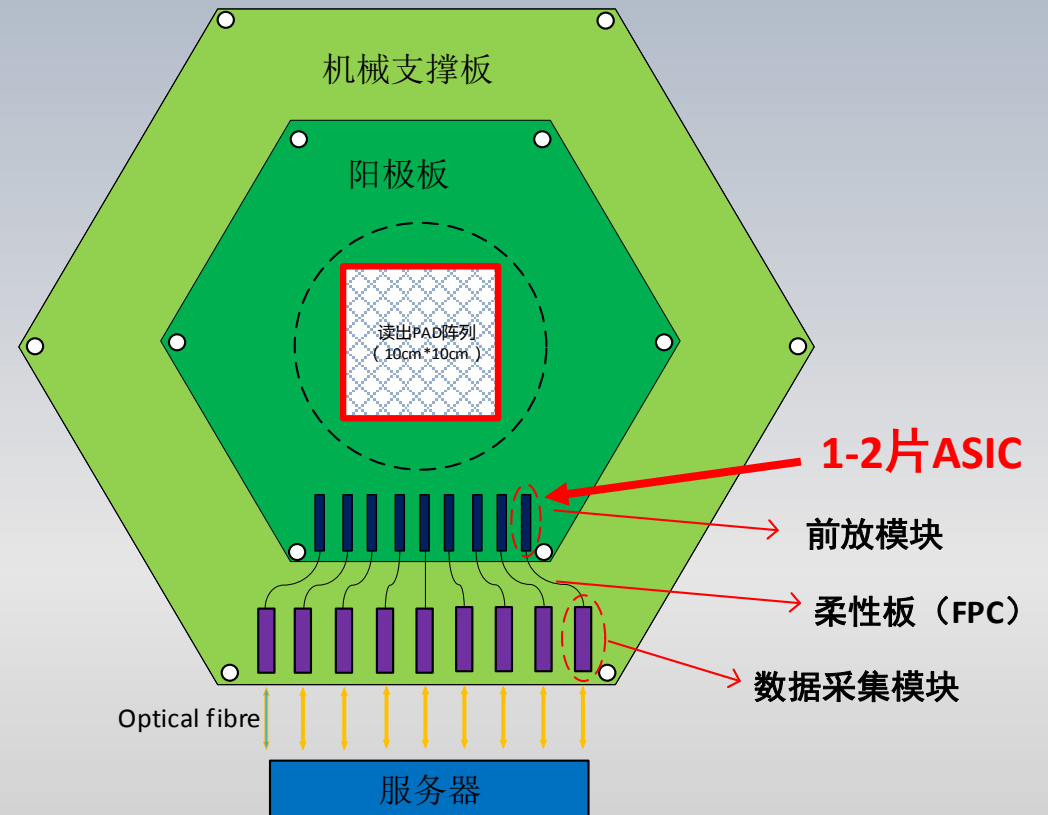
工程TPC对前端ASIC的需求

第一步：纯模拟前端ASIC——低噪声CSA（电荷灵敏放大）

- ◇ 通道数：16路或32路
- ◇ 输入动态范围：1000（满量程2pC、10pC可选）
- ◇ 噪声RMS $< 0.7fC@100pF$
- ◇ 功耗： $< 10mW/ch$
- ◇ 其他要求：**简单易用，无需数字配置，外部无复杂辅助电路**

第二步：通用TPC芯片——低噪声CSA + 片内数字化

- ◇ 通道数、输入动态范围、噪声水平：同上
- ◇ 采样率：50MSPS、25MSPS可配置
- ◇ 采样窗口： ≥ 256 个采样点
- ◇ 触发率： $> 10kHz$ （希望达到50kHz以上）
- ◇ 功耗： $< 20mW/ch$ （或可放宽到30mW）

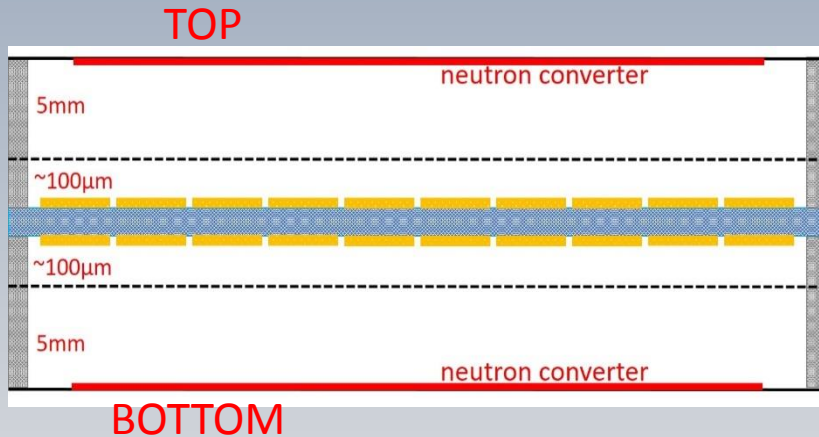


前期工作

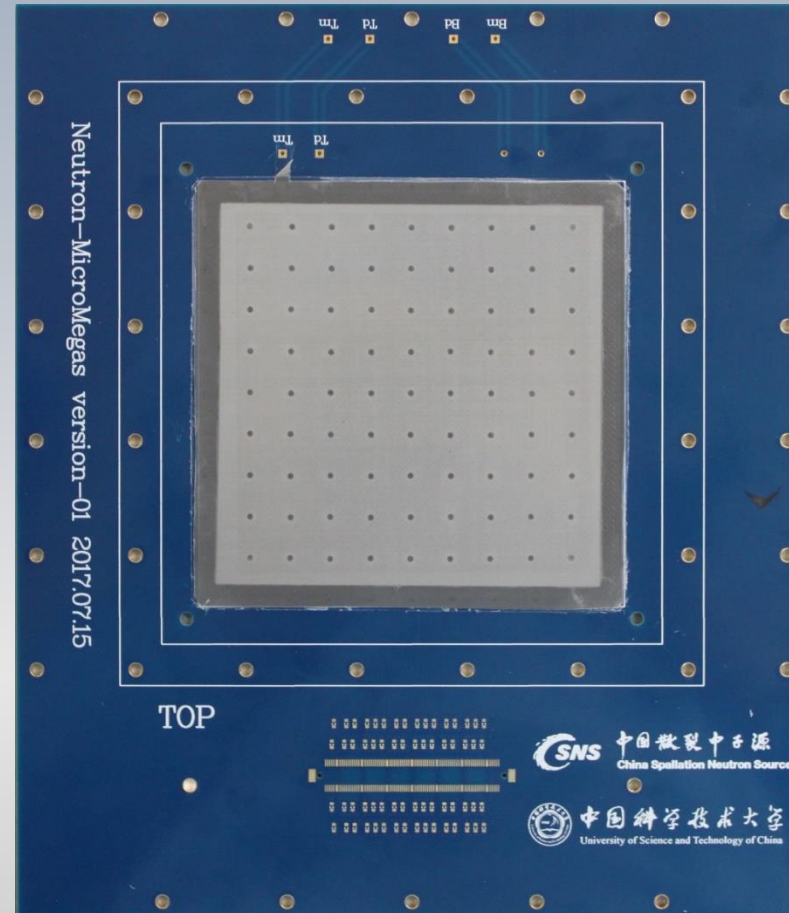


- 尽量利用现有资源
 - ✓利用已有的Micromegas束流监测器（本身就是一个小型TPC）
 - ✓利用已经完成的AGET电子学系统
- 多方筹集经费
 - ✓重点实验室（2018）
 - ✓国家重点研发计划（2016-2017）
 - ✓装发实验室开放基金（2019-2020）
- 从简单的实验做起
 1. 束斑测量
 2. 共振成像
 3. 简单的核素截面测量

项目基础（Micromegas探测器）

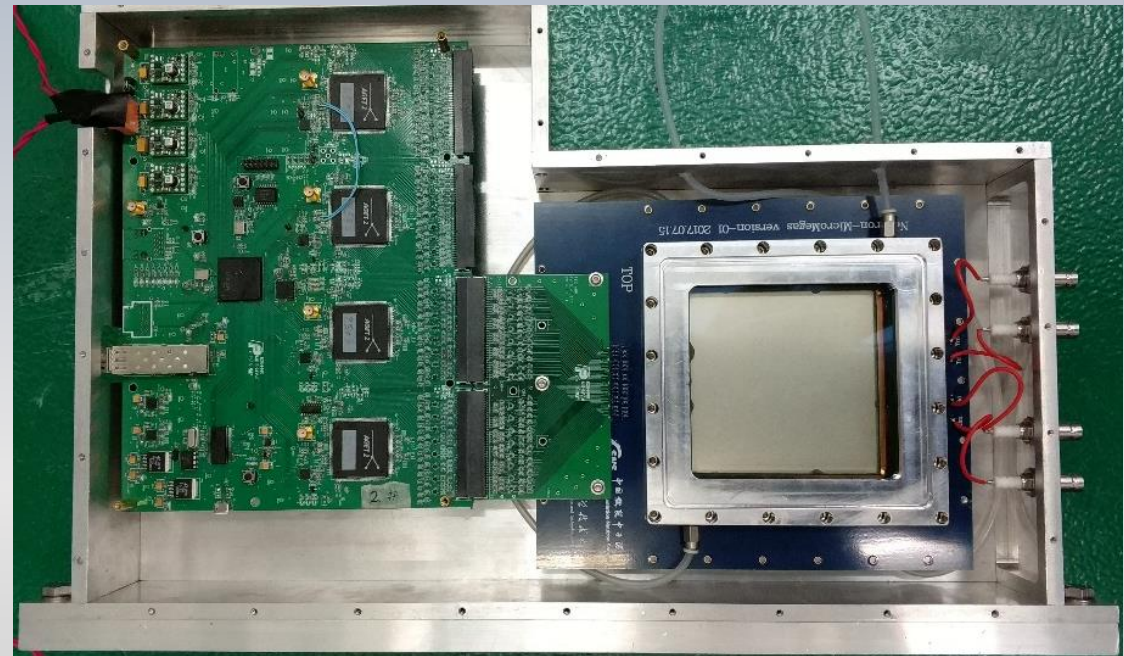


- ◆ 金属阳极（无阻挡层）探测器
- ◆ ^{10}B 中子转换体，TOP- $1\mu\text{m}$ ，BOTTOM- $0.1\mu\text{m}$
- ◆ 电压： $V_m = -380\text{V}$ ， $V_d = -450\text{V}$
- ◆ 束斑直径 $\phi = 20, 30$ 或 60cm

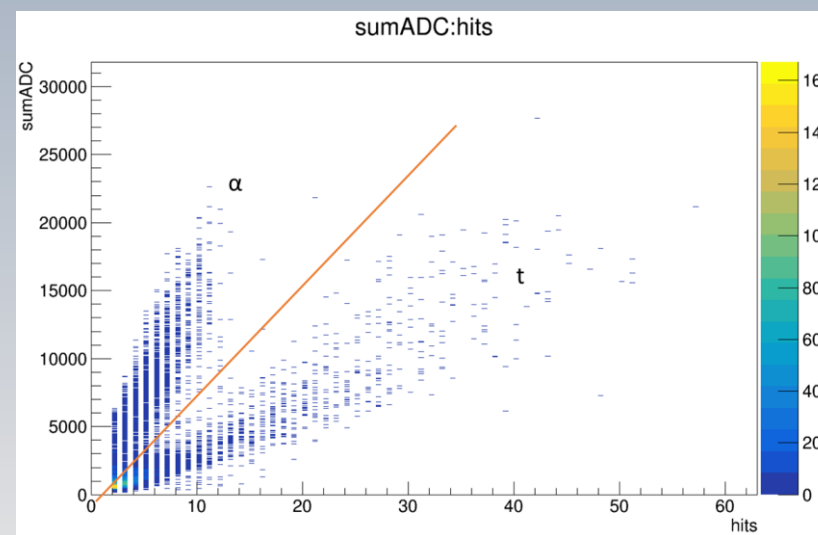
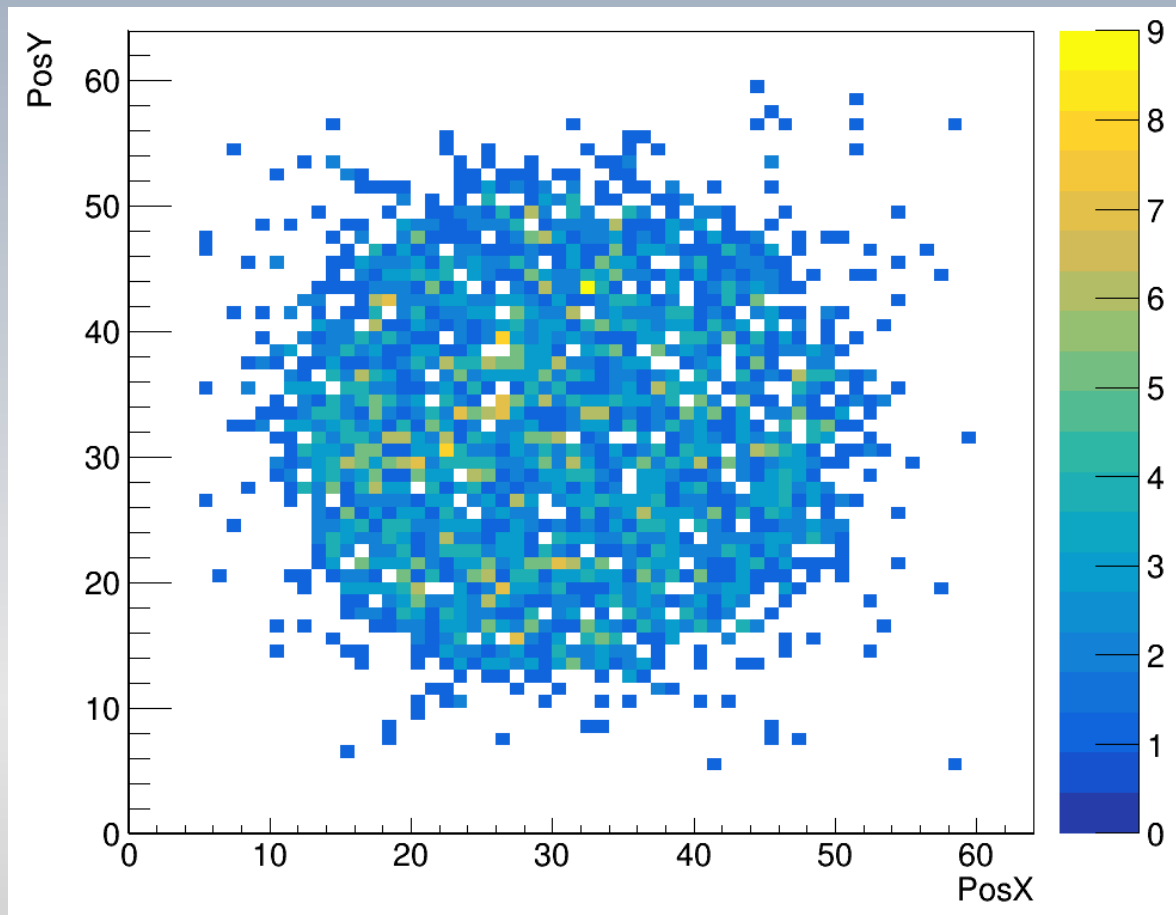


Micromegas电子学

- 基于64通道AGET芯片的读出电子学
- 波形采样、每芯片4块AGET
- 可以使用外触发
- 没有飞行时间测量模式



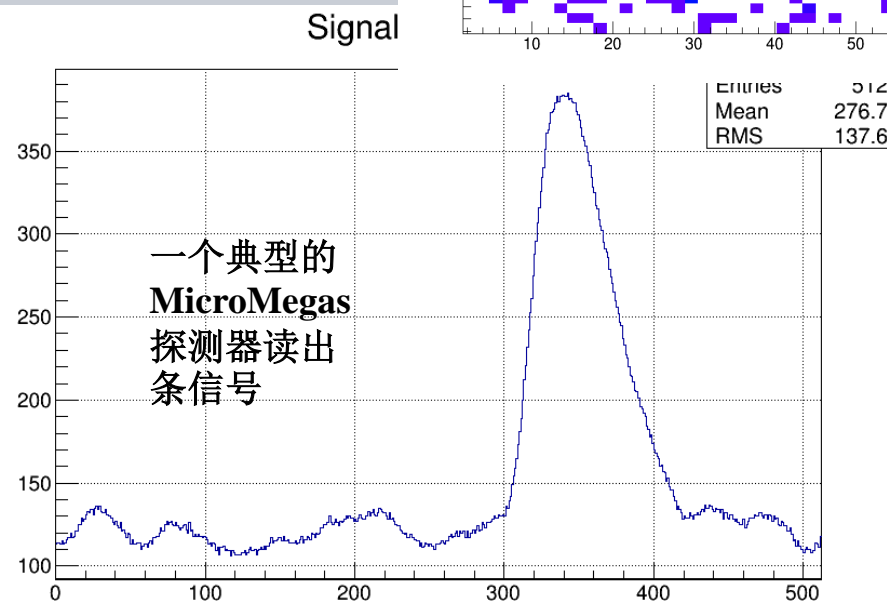
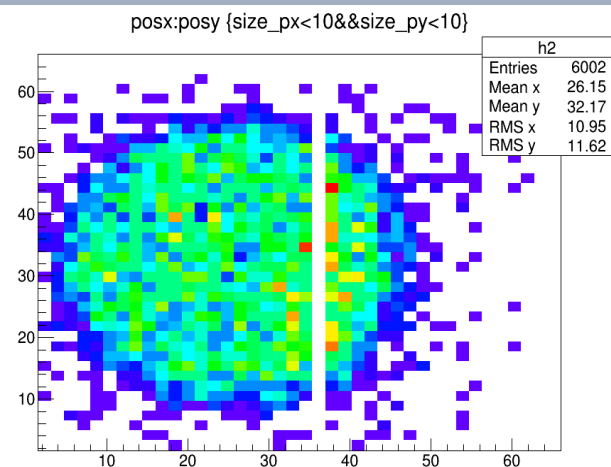
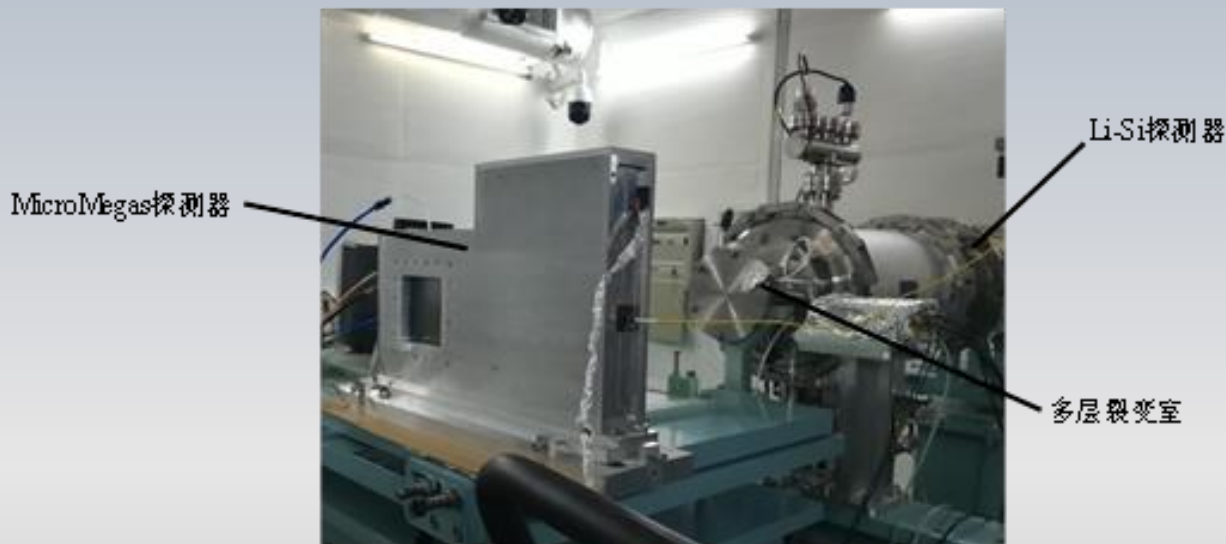
中子成像实验



利用这套探测器和128路电子学进行了放射源上测试 (Am+Be)，转换膜使用了 ^6Li 膜，可以通过粒子入射径迹长度和能量区分次级产物 α 和氚。

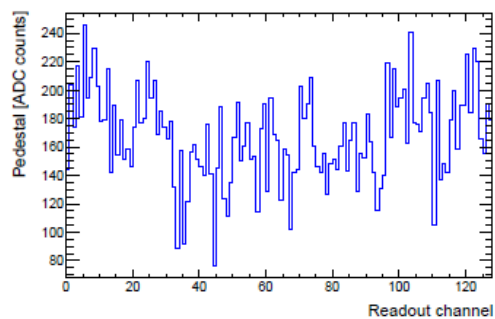
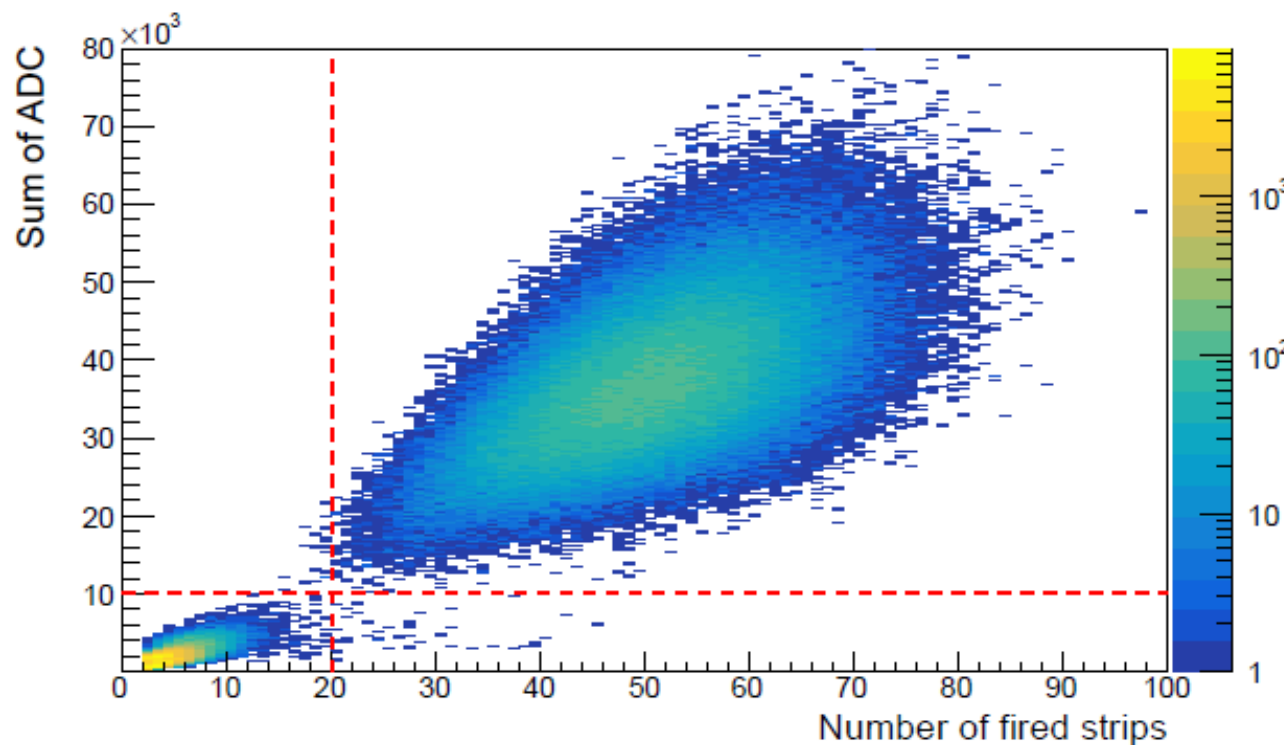
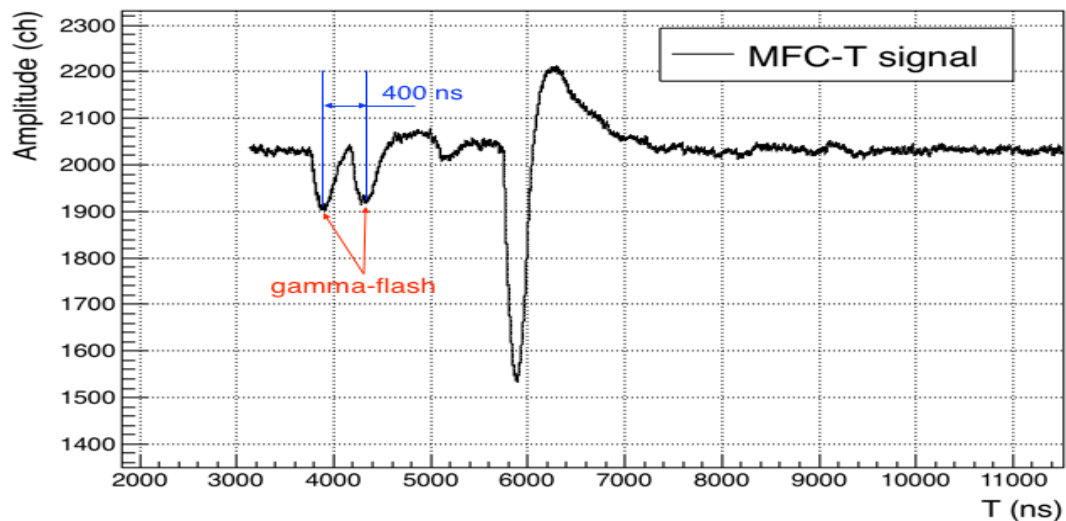
束斑成像

- 2017年8月28日散裂打靶
- 2017年11月Micromegas第一次进行束流实验

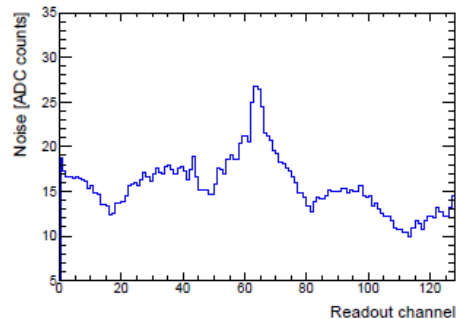


剔除干扰

T0ID: 230, Board: 3, Channel: 2



基线



噪声

信号的基本筛选条件：

- ① 信噪比大于5
- ② 信号幅度大于200 ADC

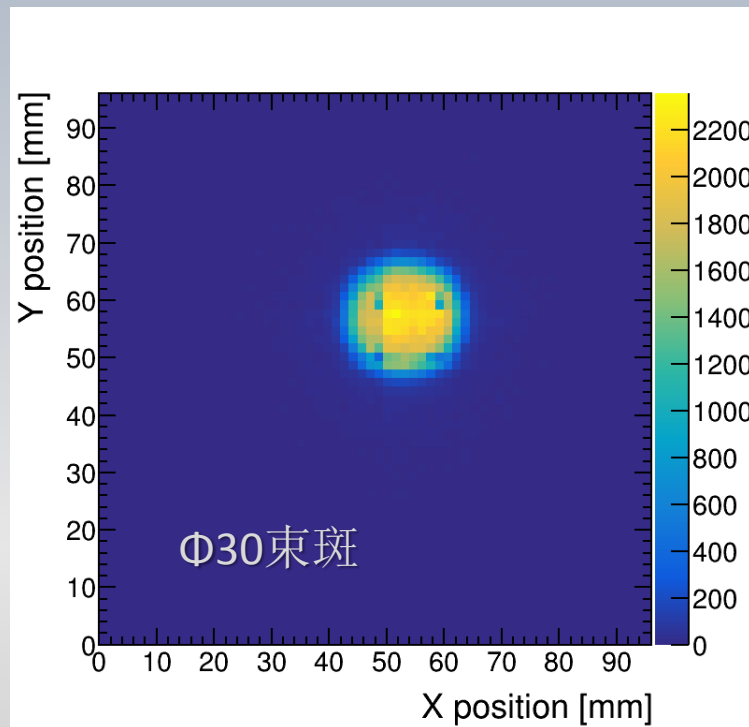
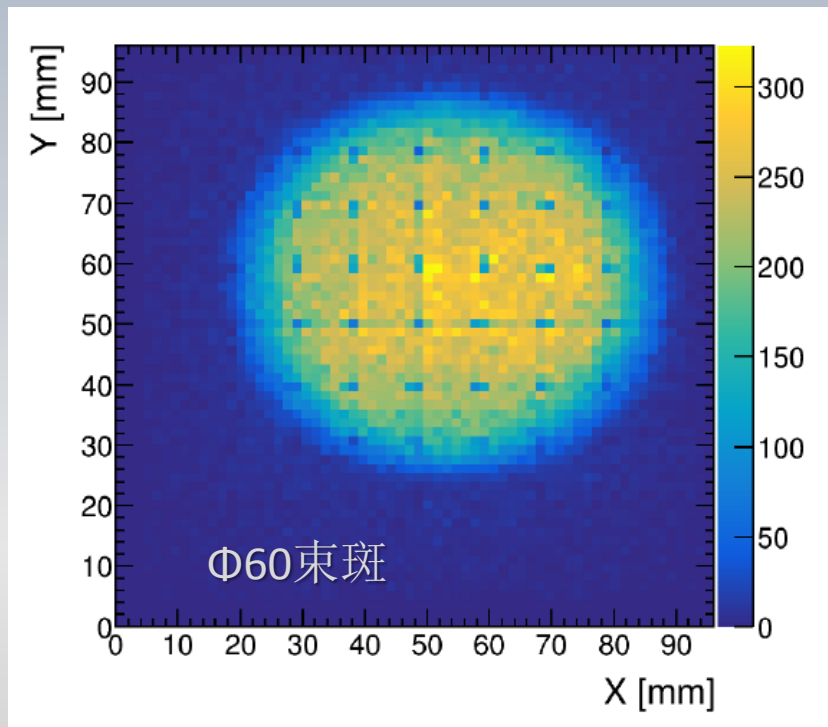
本底污染的主要来源：

- ▶ 质子束打靶产生的束内 γ -flash

Micromegas第二次束流实验



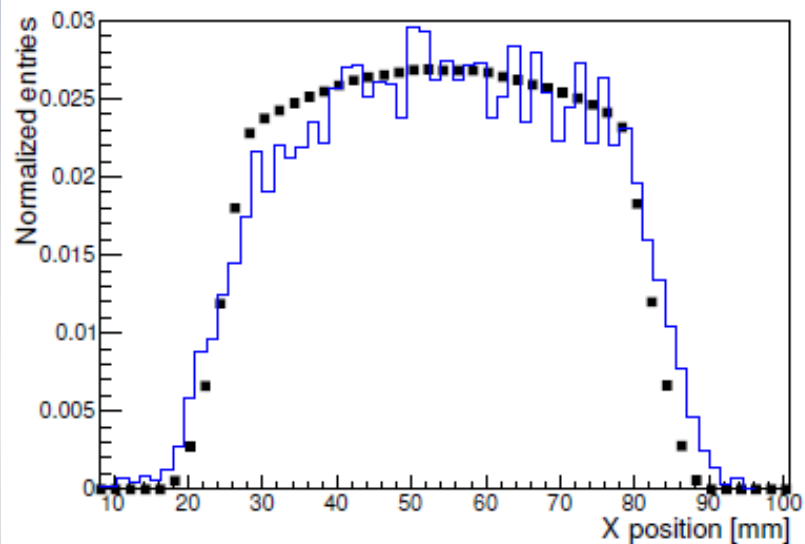
- 2018年3月进行了第二次束流实验



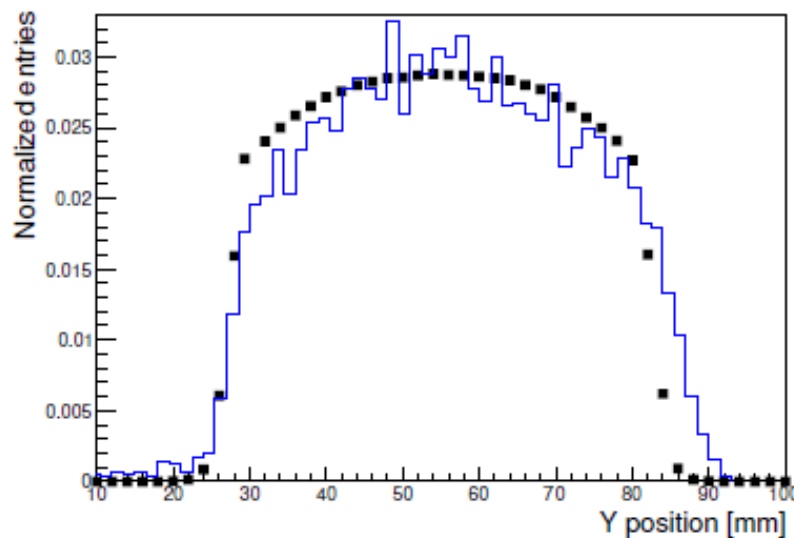
因为AGET电子学中没有中子TOF信息，所以所得的束斑图像为所有中子结果。

测量与模拟

黑色点： 55.8 m处模拟束斑
直方图： Micromegas的测量



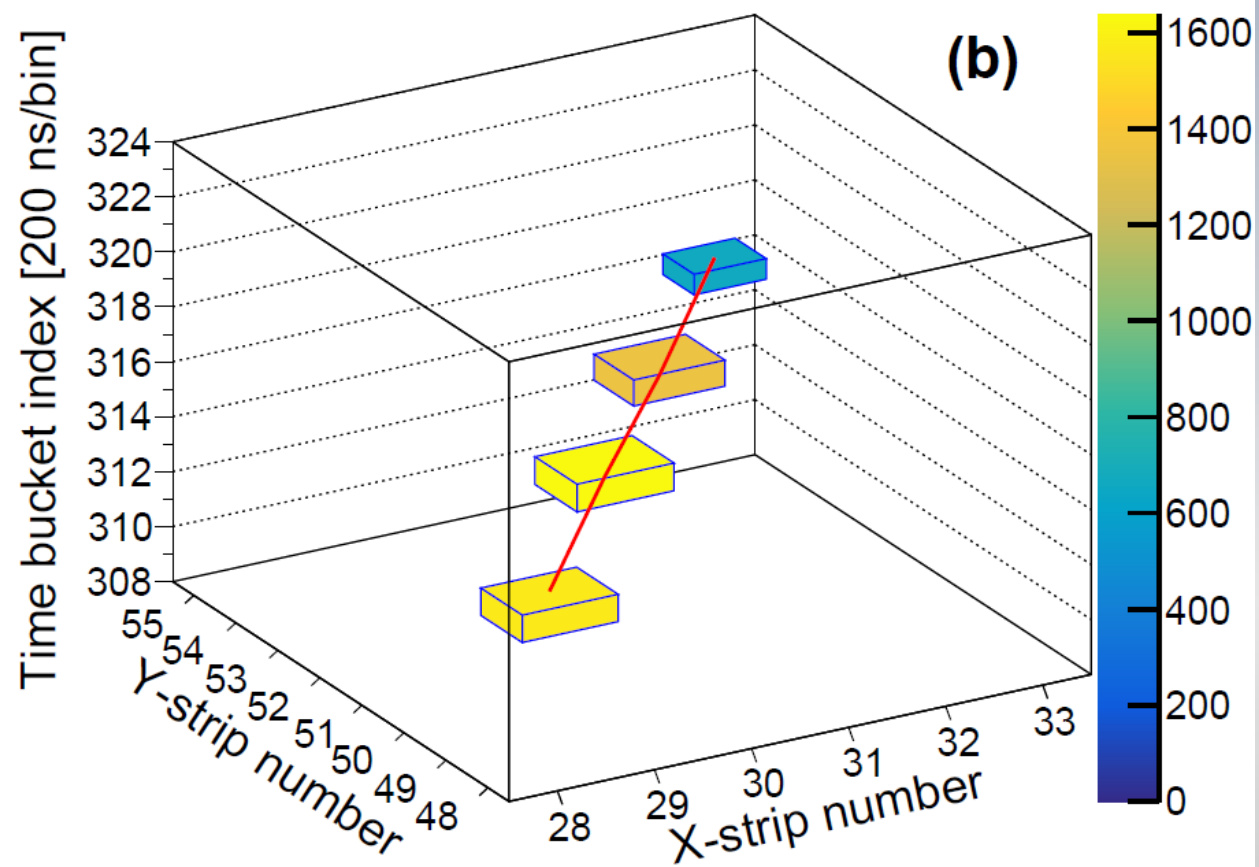
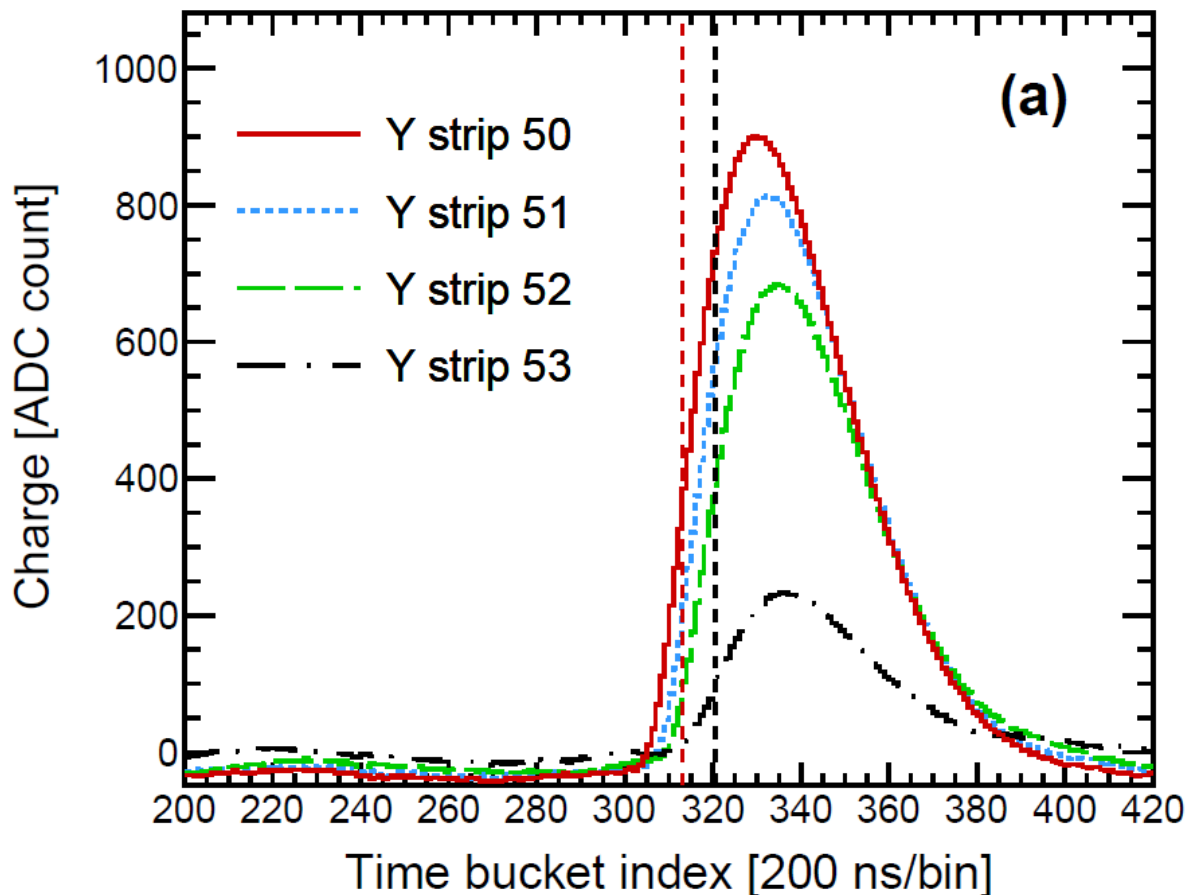
Projection on X



Projection on Y

测量结果与模拟结果一致，显示白光中子源厅一束斑为椭圆形，X方向轴长于Y方向。

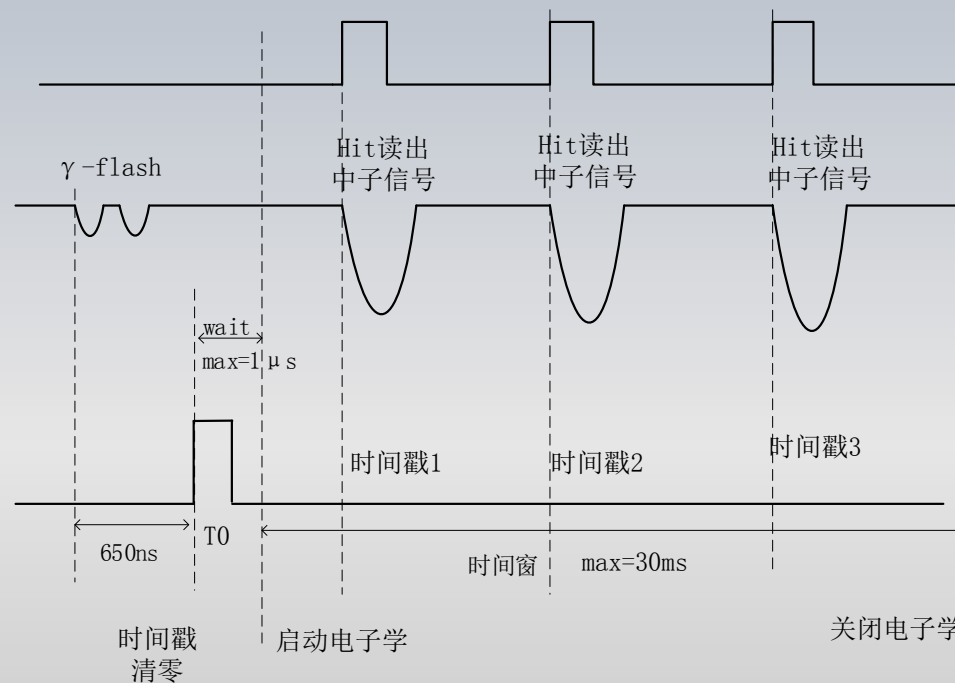
初步的径迹重建



电子学的改进

对于 AGET 板用于中子飞行时间探测的触发模式需求如图所示。为了通过反符合消除 γ -flash 信号的影响我们对于触发进行如下改动：

- 1) T0是清零使能；T0信号之后触发号与时间戳均重新从0计数。
- 2) T0使能后设置0~1 μ s的时间窗，需要外部设置。
- 3) 在上述时间窗结束后，是10~30ms的时间窗，启动电子学，对Hit信号产生触发。



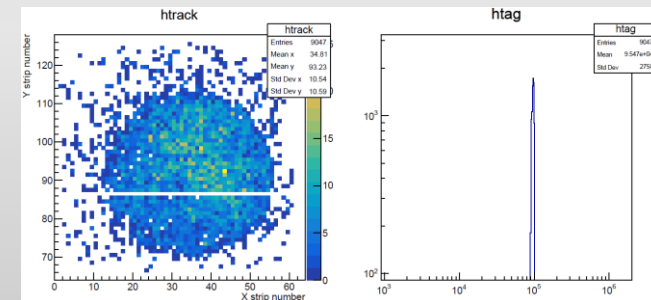
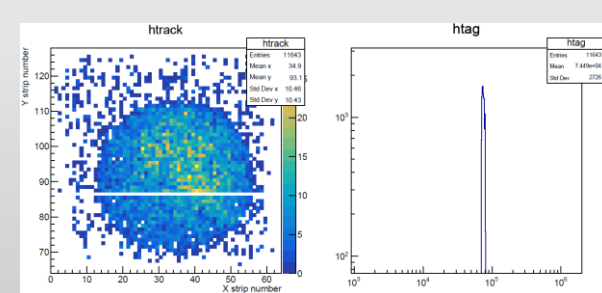
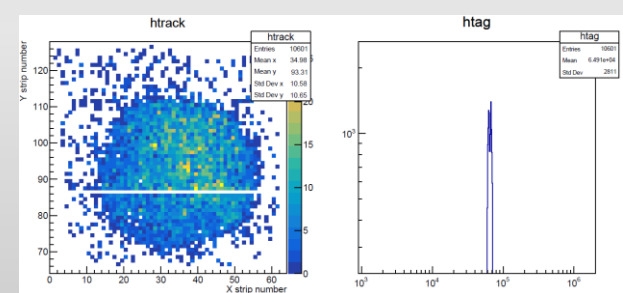
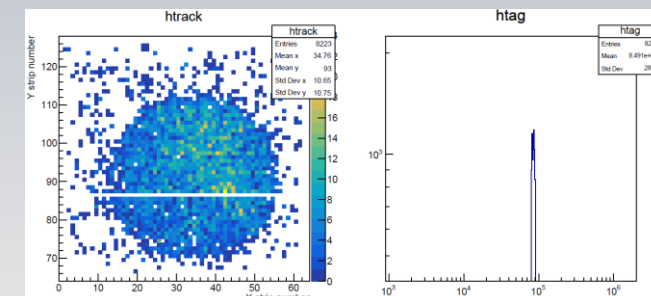
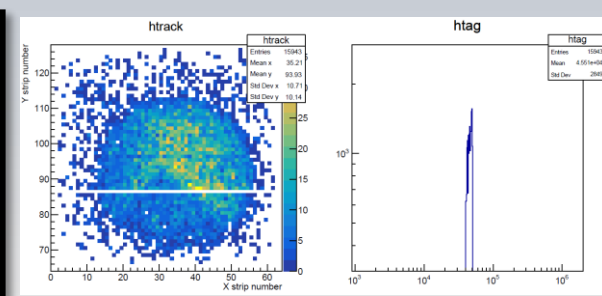
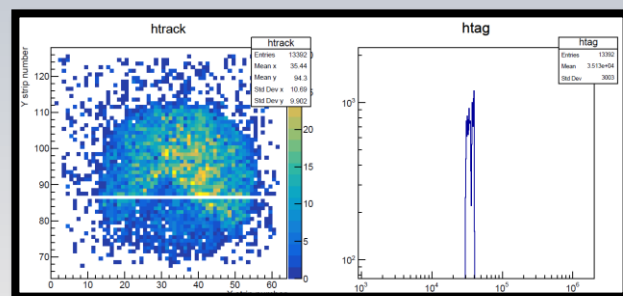
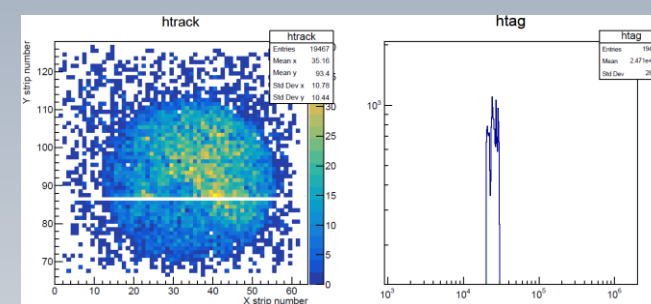
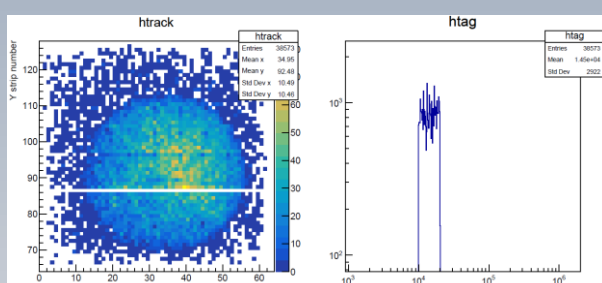
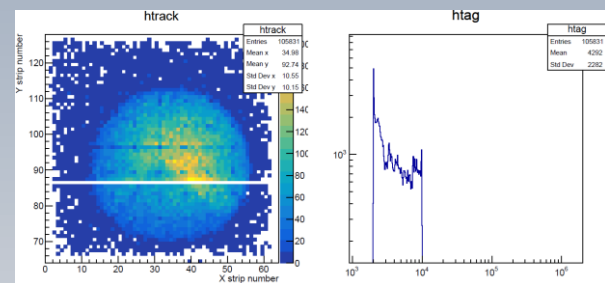
共振成像实验

□ 实验条件:

Φ 60mm束斑+Ta+Co测量



实验数据分析-- $\Phi 60\text{mm}$ 束斑+Ta+Co

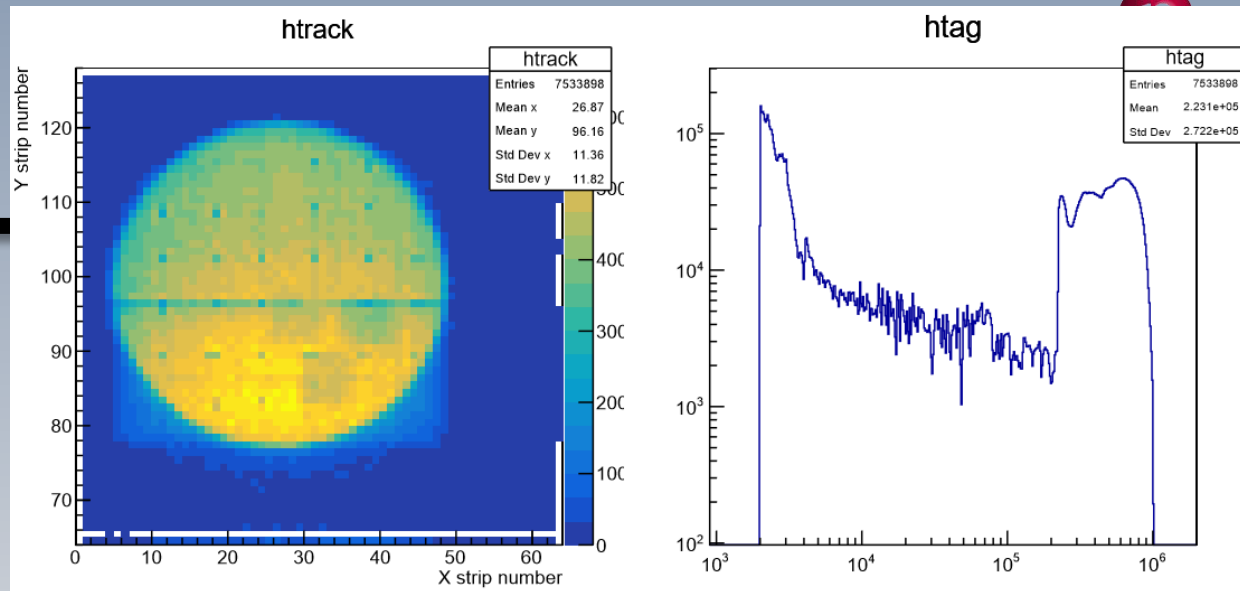


共振成像



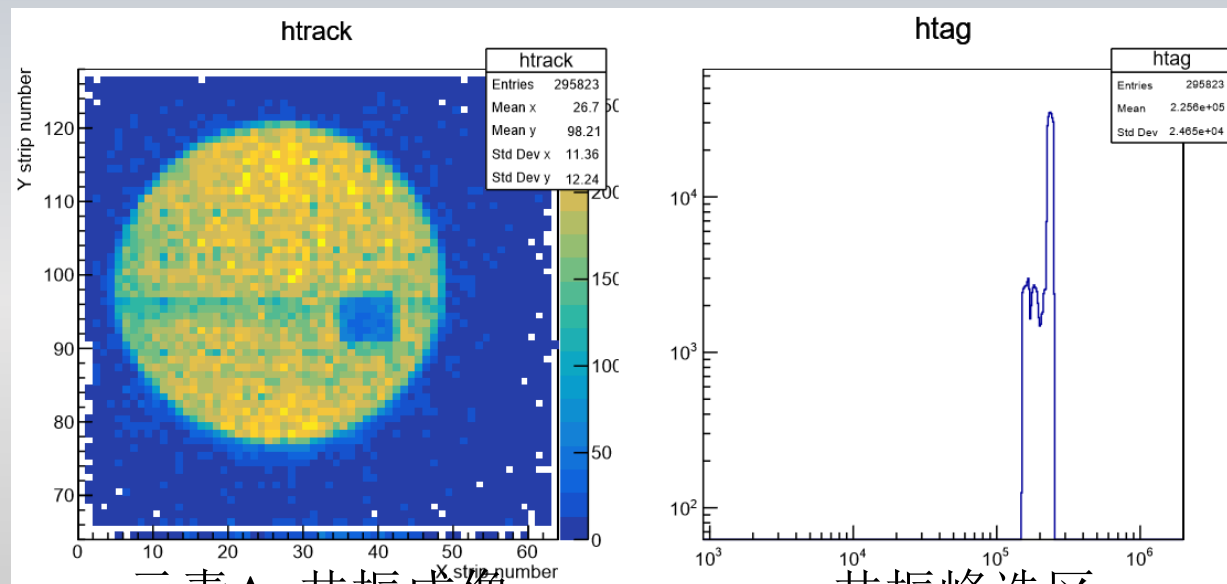
Micromegas探测器布局
位置分辨: ~1mm

样品: Ag In W



元素透射成像

中子TOF谱



元素Ag共振成像

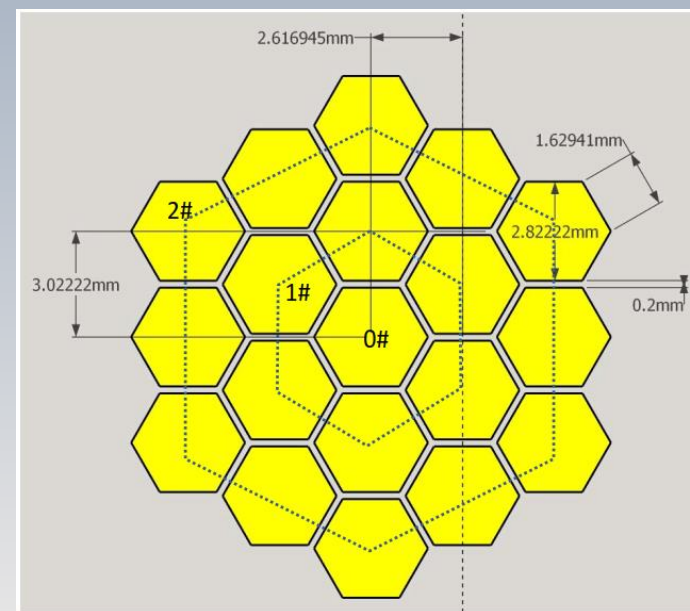
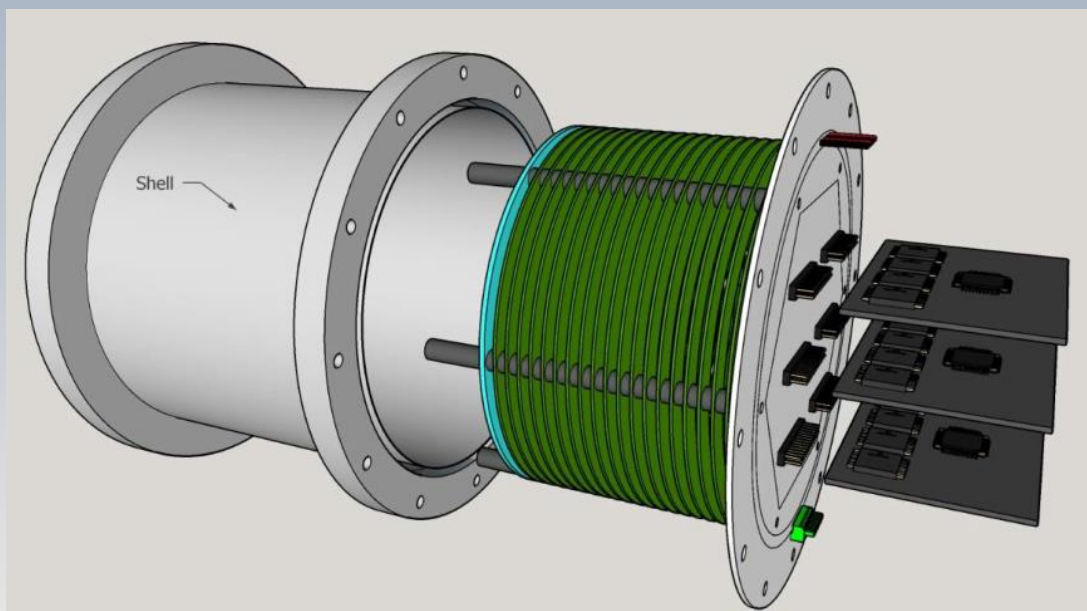
共振峰选区

小型TPC设计目标



- 进行带电粒子测量，提供大立体角覆盖
 - Li6的(n, α)反应;
 - B10的(n, α)反应;
 - C12的(n,p)反应;
 - O16的(n, α)反应;
 - 其他低截面反应测量;
- TPC初步技术指标:
 - 空间点分辨<2mm
 - 空间角分辨<3°

TPC原理样机的读出电子学



◇ 读出通道数：1519路

◇ 电子学方案：

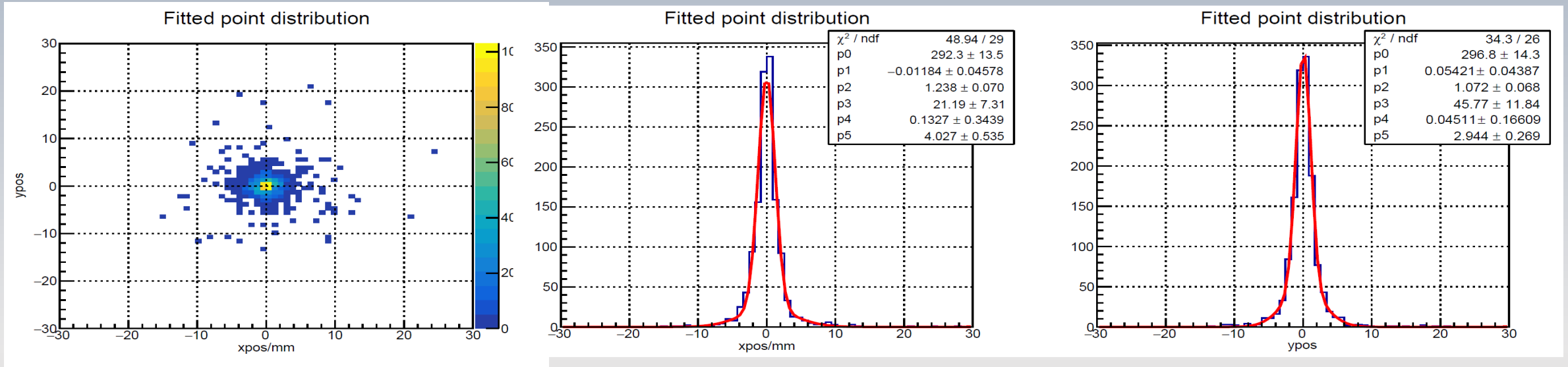
◇ 采用现有的、科大研制的基于AGET的通用电子学系统

◇ 6块FEC模块（ $256 \times 6 = 1536$ ）+ 1块DCM模块

小型TPC模拟及数据分析



- 拟合粒子径迹得到径迹方程，得到出射点二维空间分布；
- 将二维分布向x方向和y方向投影，对x-y方向的分布分别进行双高斯拟合，得到出射点空间分布；



$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 \sigma_1^2 + N_2 \sigma_2^2}{N_1 + N_2}}$$

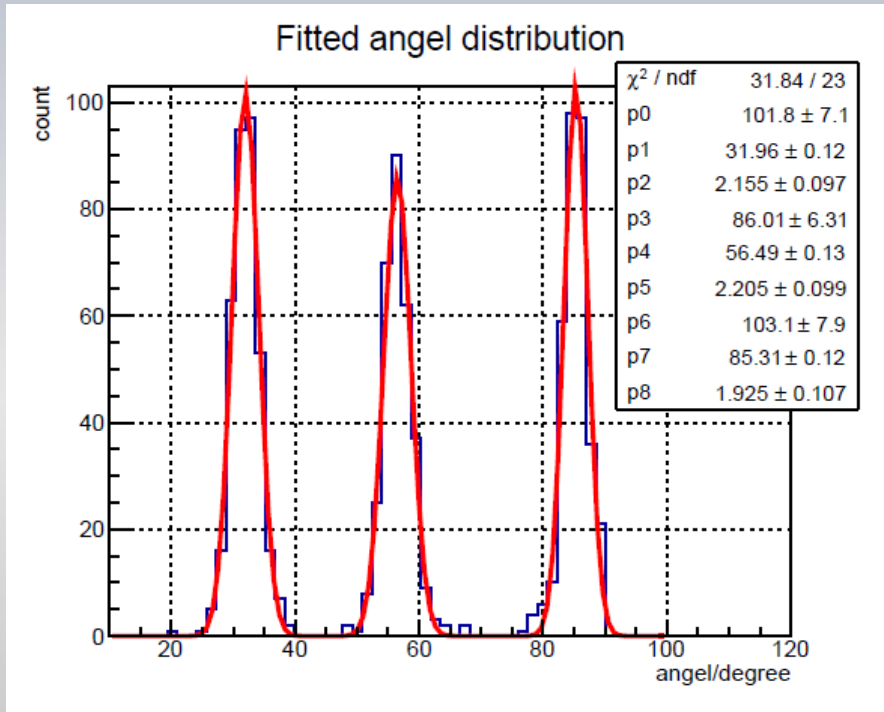
- 双高斯分布的 σ 通过对两个高斯函数的 σ_i 加权平均得到， N_i 为两个高斯函数的积分面积；
- 通过加权平均求得： $\sigma_x = 1.59\text{mm}$, $\sigma_y = 1.47\text{mm}$

小型TPC模拟及数据分析



- triton模拟数据分析：30°、55°、85° 出射。对角度分布的三个峰分别进行三高斯拟合，得到探测器的角度分辨。三个高斯分布的 σ_i 进行加权平均得到综合角度分辨：

- $$\sigma_{\theta} = \sqrt{\frac{N_1\sigma_1^2 + N_2\sigma_2^2 + N_3\sigma_3^2}{N_1 + N_2 + N_3}} = 2.1^{\circ}$$



	σ_x	σ_y	σ_{θ}
triton	1.59mm	1.47mm	2.1°
proton	1.87mm	1.87mm	3.2°

小型TPC时间计划



- 目前电子学及外围设备已经加工完毕
- 10月底完成探测器结构加工制作
- 11月择机进行测试（北京大学重离子加速器/放射源）
- 12月进行白光在束实验

未来MTPC可能会面临的问题



1. γ -flash影响与克服

影响TPC正常工作，可能造成高能区测量困难

2. 放大区制作

高密度布线，可能会造成较强的本底

3. 高密度电子学设计

10^4 读出通道，对ASIC有较强的需求

4. 数据量较大

对DAQ系统及网络的冲击

5.



谢谢!