

# 时间投影室及其在物理实验中的应用

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

2023年10月13日

第十一届全国先进气体探测器研讨会@北京

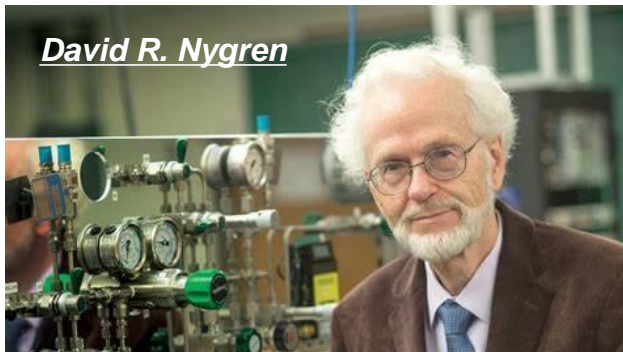
# 报告内容

- 时间投影室历史回顾
- 时间投影室的应用
- 散裂中子源MTPC研究进展
- 报告总结

# 报告内容

- 时间投影室历史回顾
- 时间投影室的应用
- 散裂中子源MTPC研究进展
- 报告总结

# 时间投影室的历史回顾



- David R. Nygren
- Conception of Time Projection Chamber
- 首次提出TPC概念时间：1974年
- 关键思路：B//E
- 抑制电子长距离漂移的扩散系数

On my way home, I stopped at the LBL Physics Library and discovered *Electrons in Gases, written by J. S. Townsend*. The title seemed perfect; I checked it out and took it home. On page 20, (see Fig. 3) I discovered the following expression, describing the impact of a magnetic field  $B$  on transverse diffusion of electrons in gases.

.....  
Further exploration of this wonderful little book contained two more surprises. **First, the book was published in 1948!** How could such a simple idea, to exploit parallel fields, have gone unnoticed for a quarter century? Second, and even more remarkably, **Townsend had published his initial work and this exact result in 1912!** I remain astonished by this because simple and useful ideas are usually rediscovered several times.

— David R. Nygren

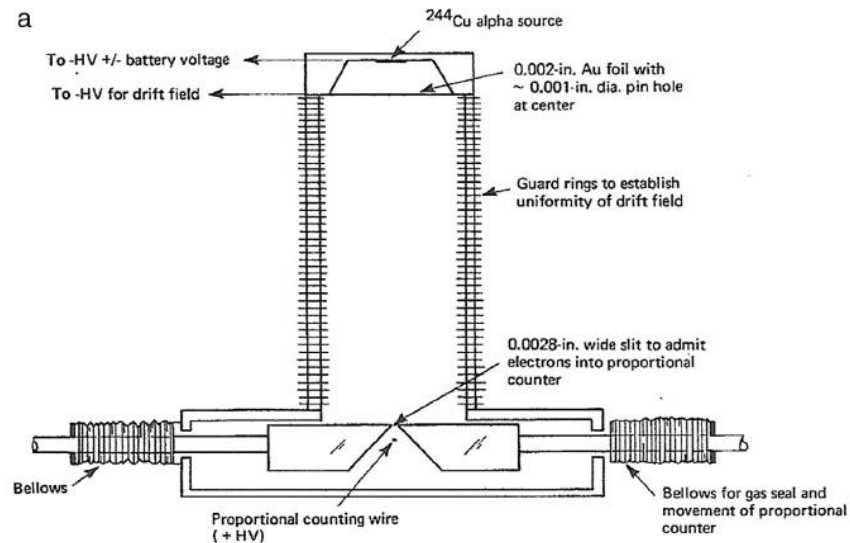
*Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 907 (2018) 22–30*

The coefficient of diffusion  $K_{\perp}$  (in the directions perpendicular to the direction of the magnetic force) of electrons moving with the velocity of agitation  $U$  is therefore given by the equation

$$K_{\perp} = \frac{1}{3} U^2 (1 - \omega^2 T^2). \quad (35)$$

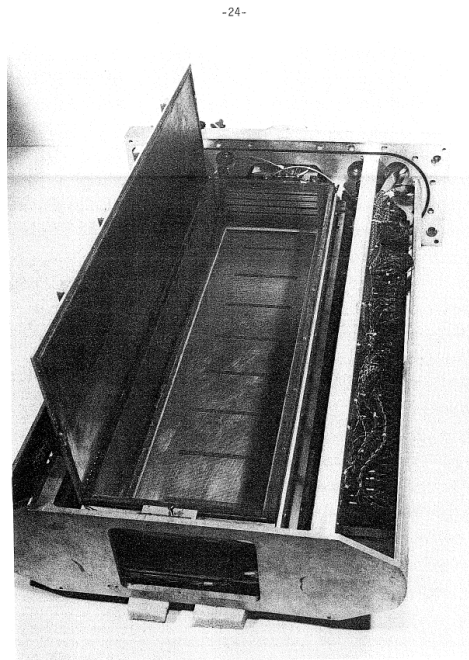
# 时间投影室的历史回顾

- 测试装置
- 顶端 $\alpha$ 源电离电子通过针孔，产生准单电子源
- 通过调节阳极狭缝大小，研究电荷横向扩散
- 验证不同角度时电子漂移的 $E \times B$ 效应



# 时间投影室的历史回顾

- 第一个TPC原型@Bevatron
- a small TPC about the size of a shoebox



CBB 787-9080

Fig. 6

- 第一个TPC验证模块
- For the proposal of PEP-4 TPC
- 192 wires and pad plane rows



# 报告内容

## ● 时间投影室历史回顾

## ● 时间投影室的应用

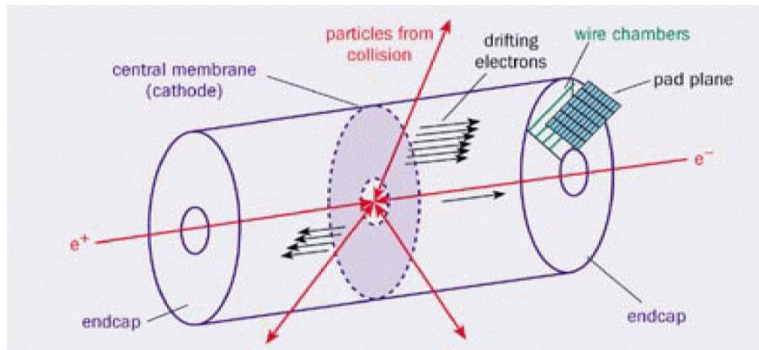
- 高能物理实验
- 中高能核物理实验
- 核物理实验
- 稀有物理事例探测
- 空间天文观测
- 中子实验测量

## ● 散裂中子源MTPC研究进展

## ● 报告总结

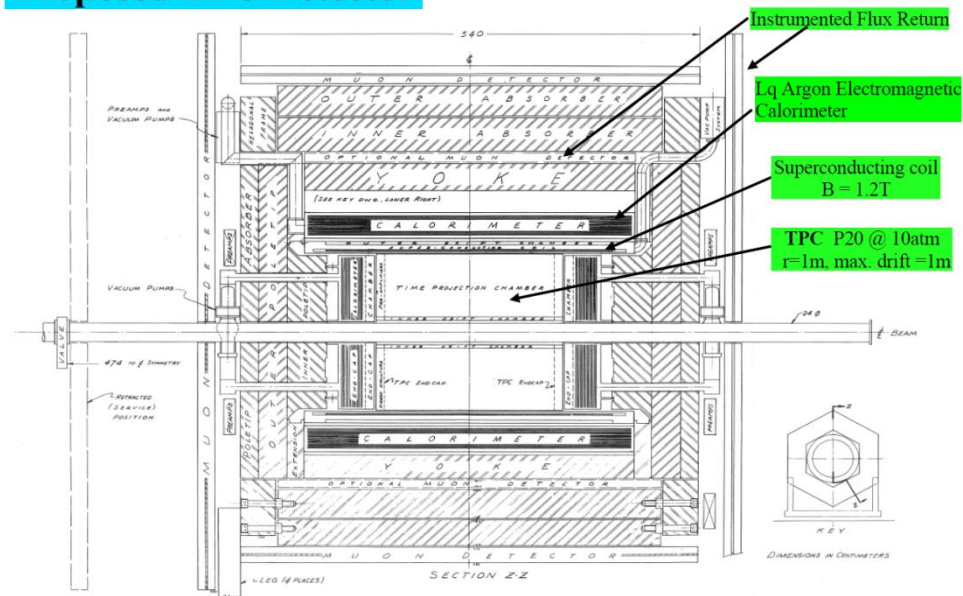
# 高能物理实验中的TPC

- TPC@PEP-4
- TPC首次在粒子对撞机谱仪中的应用 (1976年)
- 对撞机TPC典型构型：中空圆柱体
- 探测粒子特征：大横向动量 $p_T$ 粒子



## Proposed TPC Detector

Dated Dec. 30, 1976

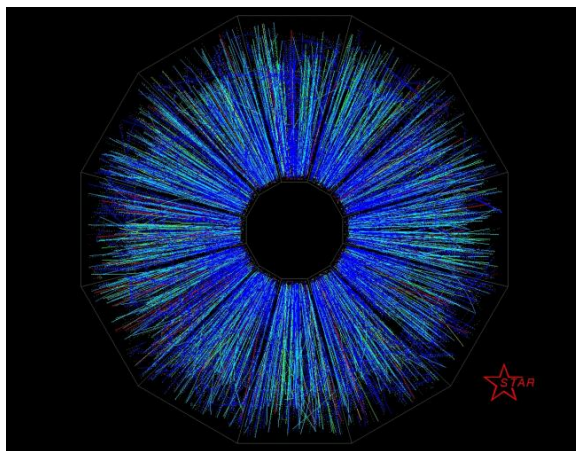
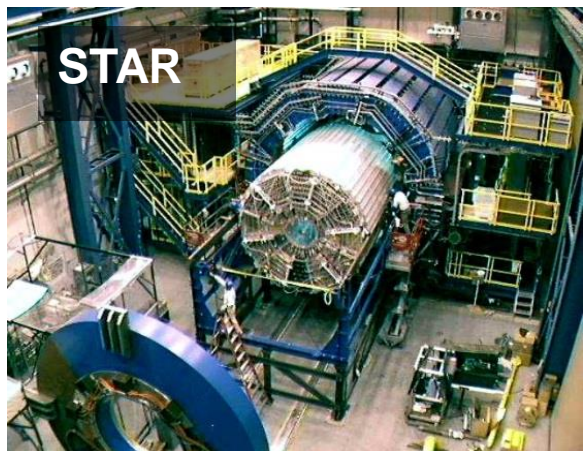


XBL 7612-11403



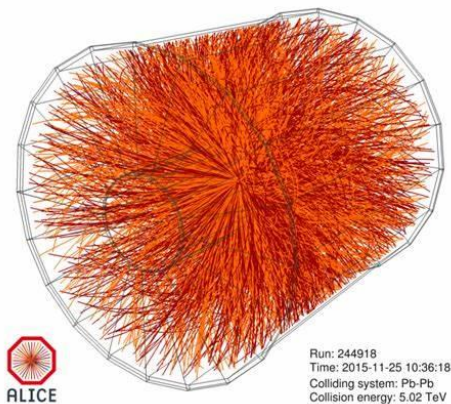
# 高能物理实验中的TPC

- 高能重离子对撞实验：STAR@Brookhaven
- 束流能量：Au+Au@ $\sqrt{s_{NN}} = 200\text{GeV}/u$
- 尺寸： $\varphi 4\text{m} \times 4.2\text{m}$
- 读出方式：丝室
- 气压：1atm+2mbar
- 工作气体：P10 (Ar:90%+CO<sub>2</sub>:10%)
- 读出pad数：136608
- 磁场：0.5T



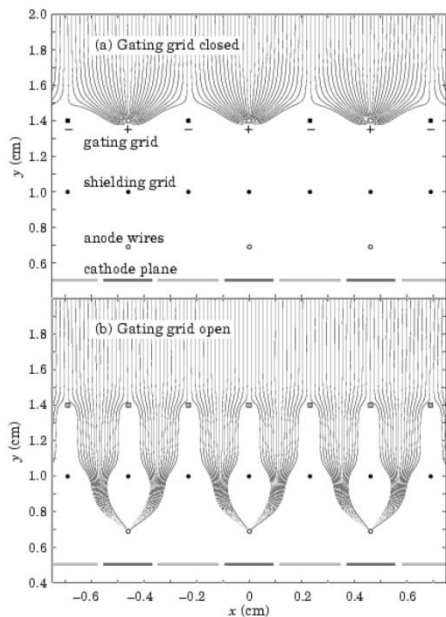
# 高能物理实验中的TPC

- 高能重离子对撞实验：ALICE@LHC
- 束流能量：Pb+Pb@ $\sqrt{s_{NN}} = 5.5\text{TeV}/u$
- 尺寸： $\sim\phi 5\text{m}\times 5\text{m}$
- 读出方式：丝室
- 气压：1atm
- 工作气体：Ne-CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> [85.7-9.5-4.8]
- 读出通道数：557 568
- 磁场：0.5T

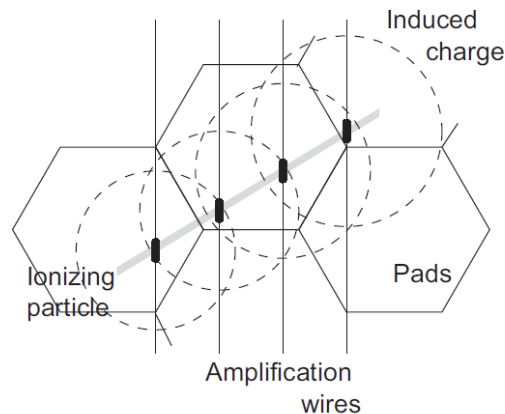


# 高能物理实验中的TPC

- TPC早期的电子雪崩增益结构：丝室
- 靠GatingGrid和门控电压阻止正离子回流
- 空间电荷效应、门控电压开关速率限制计数率
- 门控信号造成信号串扰



- 径迹重建过程的一个重要内容：
- 电子雪崩过程在pad的感应信号的响应函数 $\sigma(x, y)$
- 根据响应函数构造合适的径迹重建算法



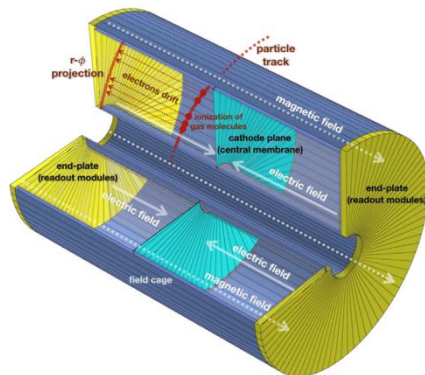
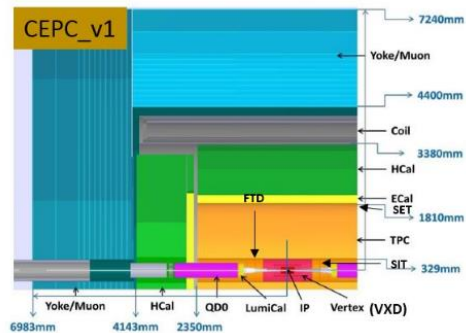
$$\sigma(x, y) = \frac{-Q}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (2n+1)L}{[(2n+1)^2 L^2 + x^2 + y^2]^{3/2}}$$

# 高能物理实验中的TPC

## ● 未来粒子对撞机

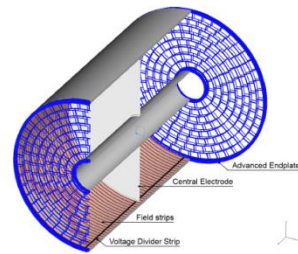
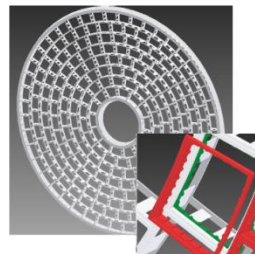
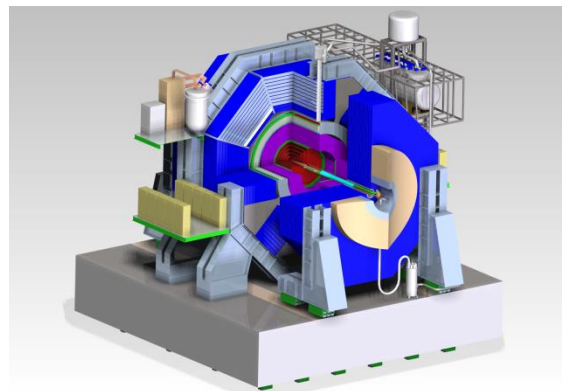
### ● CEPC

- 束流能量:  $e^+e^-@ \sqrt{s} = 240 GeV$
- 尺寸:  $\phi 1.8m \times 4.7m$
- 读出方式: GEM
- 气体: 93% Ar+5%CH<sub>4</sub>+2%CO<sub>2</sub>
- 磁场: 3T



### ● ILC

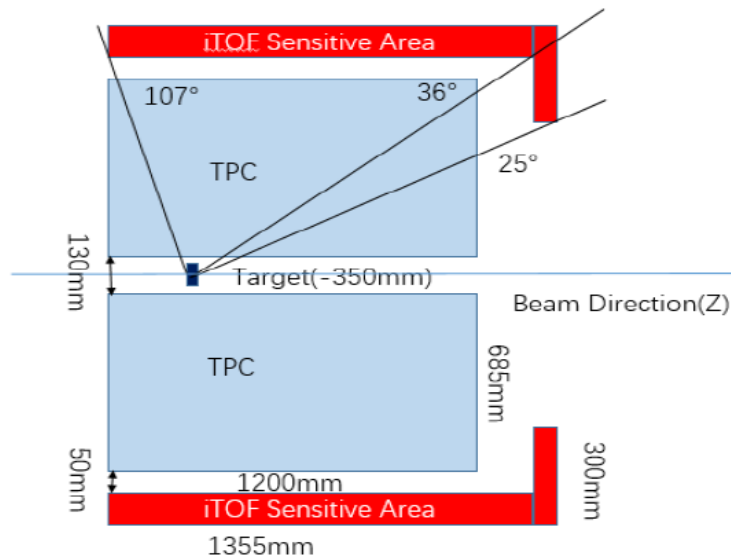
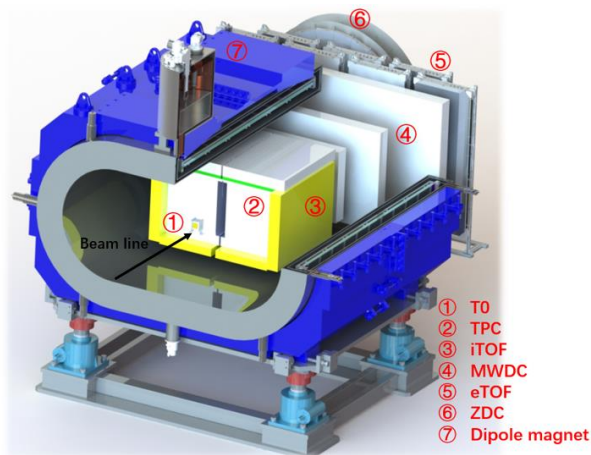
- 束流能量:  $e^+e^-@ \sqrt{s} = 1000 GeV$
- 尺寸:  $\phi 1.8m \times 4.7m$
- 读出方式: GEM or Micromegas
- 气体: T2K-gas, Ar-CF<sub>4</sub>(3%)-isobutane(2%)
- 磁场: 3.5T



# 中高能核物理实验中的TPC

## ● CEE@IMP

- 束流能量:  $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}@600\text{ MeV/u}$
- TPC构型: 立方体腔体  $90\text{cm}\times 100\text{cm}\times 80\text{cm}$
- 读出方式: 级联GEM
- 气体:  $90\%\text{Ar} + 7\%\text{CH}_4 + 3\%\text{CF}_4@1\text{atm}$
- 探测粒子特征: 前向出射大动量强子
- 实验配置: 重离子束流+固定靶+二极铁 (0.5T) +TPC

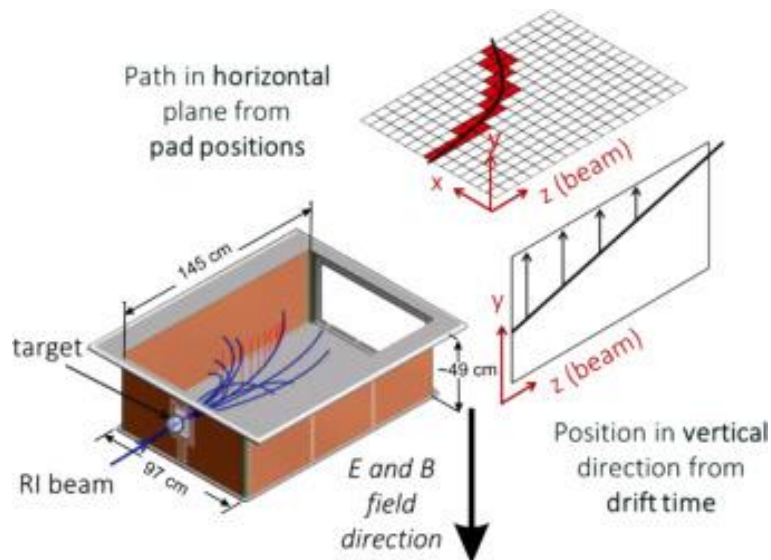
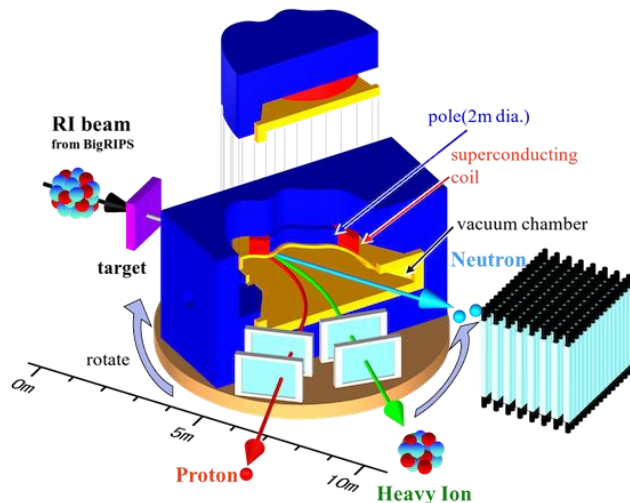




# 中高能核物理实验中的TPC

## ● SπRIT@RIKEN

- 束流能量:  $^{132}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn} @ E/A = 350\text{MeV}$
- TPC构型: 立方体腔体 $145\text{cm} \times 97\text{cm} \times 49\text{cm}$
- 气体: P10@1atm
- 读出方式: 丝室, 12096pad
- 探测粒子特征: 前向出射大动量强子
- 实验配置: 重离子束流+固定靶+二极铁 (3.1T) +TPC

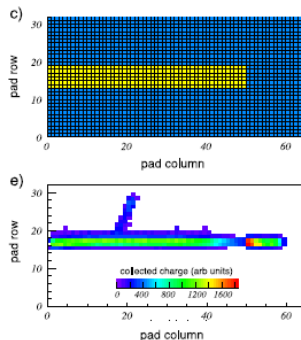
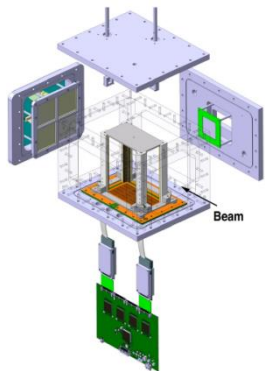


# 核物理实验中的TPC

- 放射性同位素离子束实验、核天体物理实验
- 气体活性靶实验配置：提高靶核数、降低粒子测量阈值
- 漂移距离短：无磁场
- 立方体结构+半导体闪烁体阵列
- 多层丝结构场笼：减小场笼物质量，利于粒子透射
- 读出板增益分区设计：避免束流区域饱和

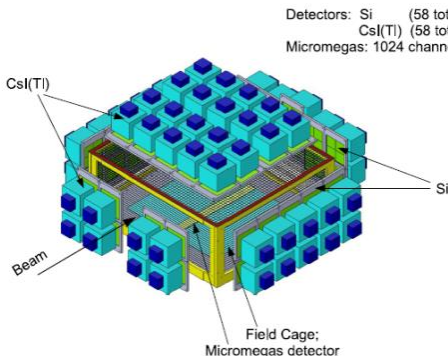
## ACTAR-TPC@GARNIL

束流能量： $^{24}\text{Mg}/^{58}\text{Ni}$ , 4.0MeV/u  
 尺寸：300mm × 250mm × 210mm  
 读出：Bulk-Micromegas  
 气体：Ar(97%) + iC4H10(3%), 0~2bar



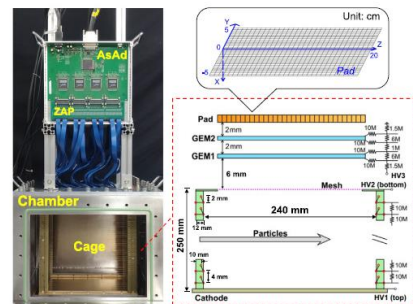
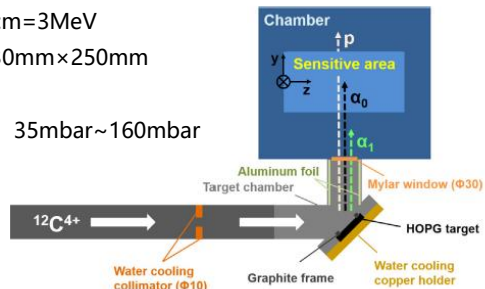
## TexAT@TAMU

束流能量： $^8\text{B}$ , 60MeV  
 尺寸：316mm×346mm×135mm  
 读出：GEM+Micromegas  
 气体：He/CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, P5/P10@15Torr~1250Torr



## MATE@IMP

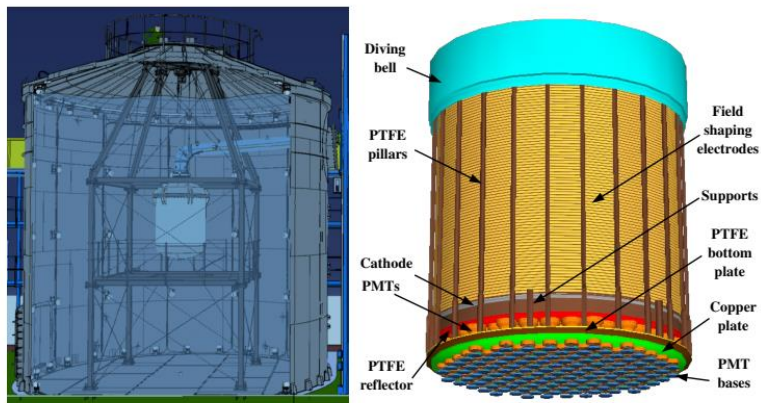
束流能量： $^{12}\text{C}$ ,  $E_{cm}=3\text{MeV}$   
 尺寸：240mm×130mm×250mm  
 读出：GEM  
 气体：iC4H4/P10, 35mbar~160mbar



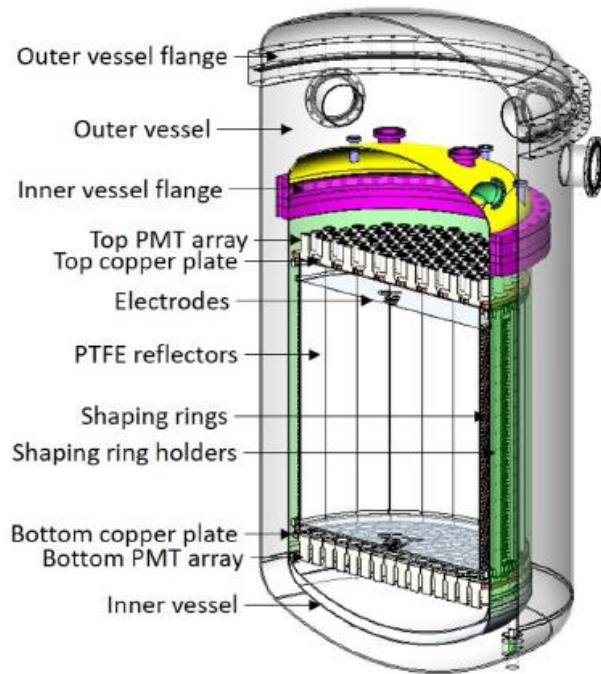
# 稀有物理事例探测中的TPC

- 暗物质直接探测
- 工作介质Xe, 气液两相型TPC
- PMT记录闪烁光获得三维径迹
- 低本底要求

## XENON@Gran Sasso



## PandaX-4T@CJPL





# 稀有物理事例探测中的TPC

- $0\nu\beta\beta$  实验测量

## PandaX-III, 10bar氙, Micromegas读出

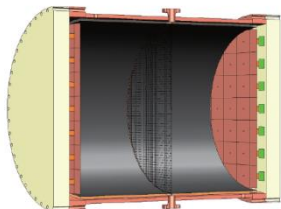


Figure 1 (Color online) Schematic of the PandaX-III TPC.

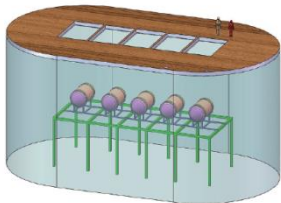
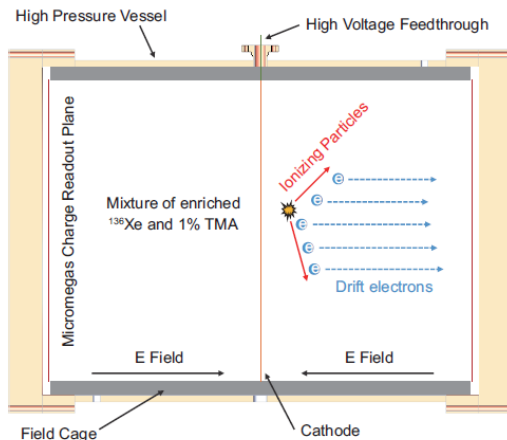
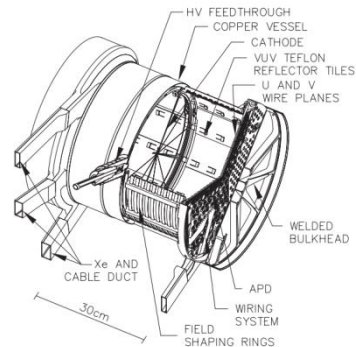
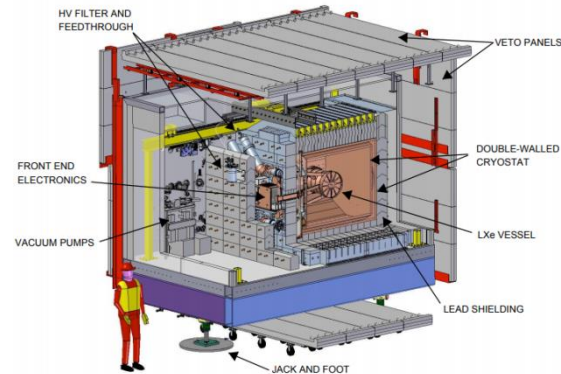


Figure 2 (Color online) Illustration of full PandaX-III program, with 5 TPCs immersed in a large ultra-clean water tank.



## EXO-200, 液氙介质, 丝室读出



# 稀有物理事例探测中的TPC

- 中微子探测:T2K中微子实验
- Bulk工艺Micromegas读出
- DLC阻性层 (2.5MΩ/sqr)
- 采用大尺寸pad, 通过电荷扩散提高位置分辨, 减少电子学通道

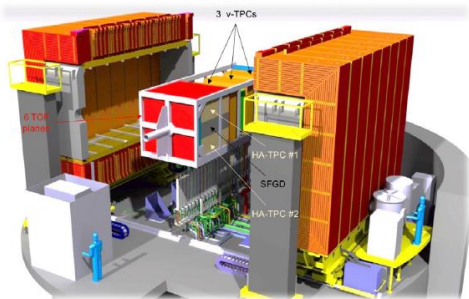


Fig. 1. ND280 upgrade configuration.

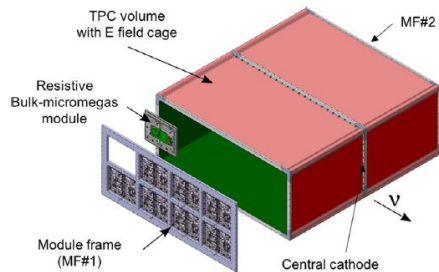


Fig. 2. The new HA-TPC components.

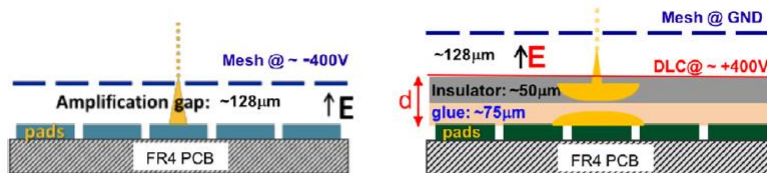


Fig. 5. Cross section of a “standard” (left) and “resistive foil” (right) micromegas.

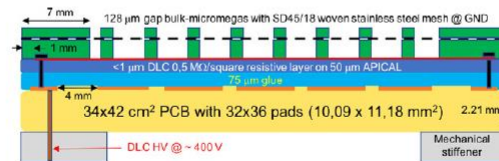
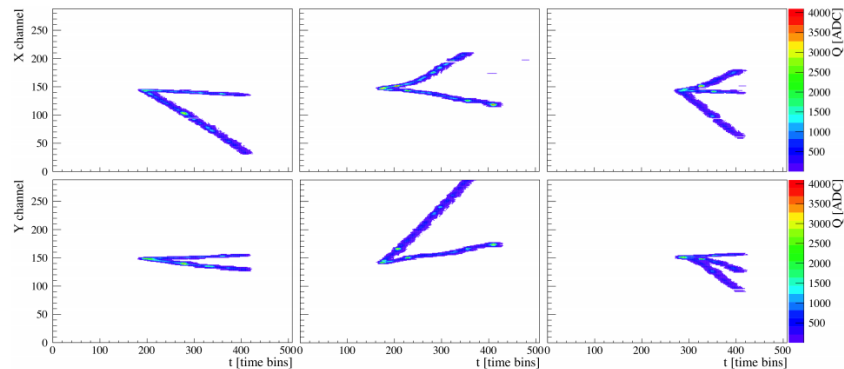
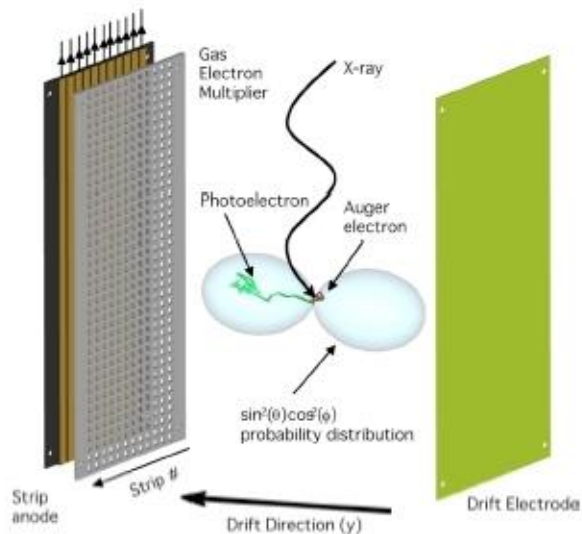
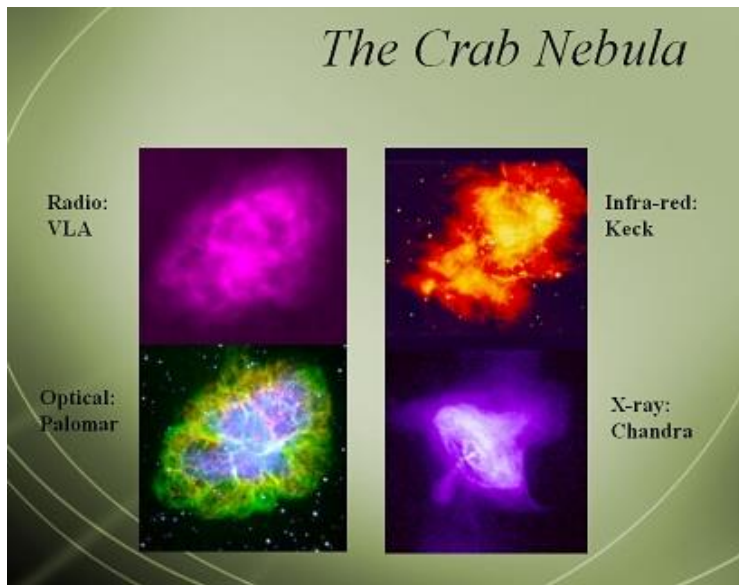


Fig. 6. Cross section of the MM1 resistive bulk-micromegas.

# 空间天文观测中的TPC

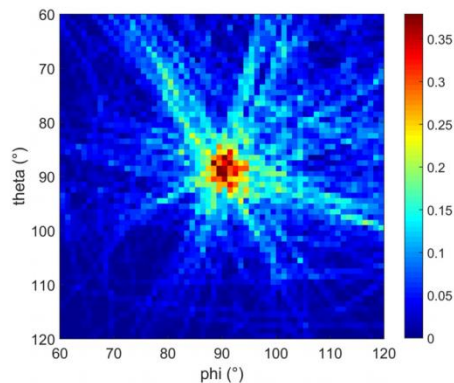
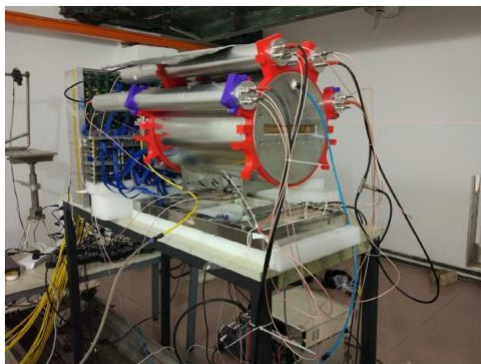
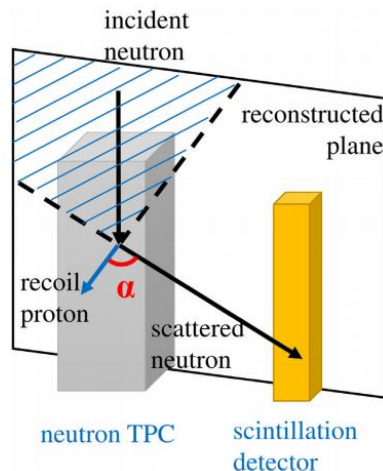
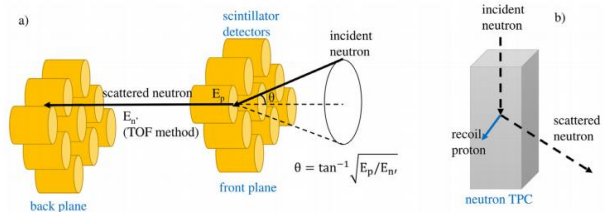
- 天体 $\gamma$ /x-ray源的偏振测量
- 技术特点：低气压、薄窗、高精度



# 中子实验测量中的TPC

## ● 基于nTPC和塑闪阵列的快中子源定向测量@THU

- 尺寸: 10cm×10cm×50cm
- 读出: GEM
- 气体: Ar:C2H6(50:50)



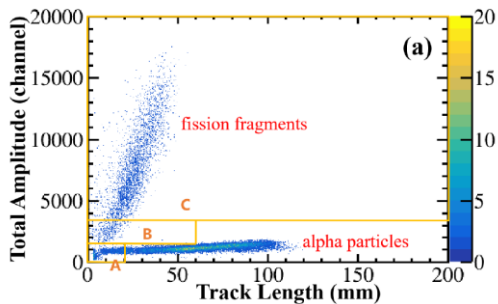
# 中子实验测量中的TPC

- 中子引发裂变核反应截面测量

## TPC@PKU

读出: Micromegas

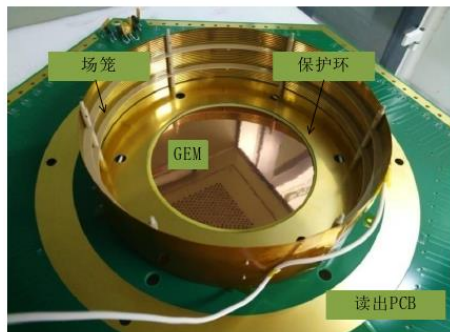
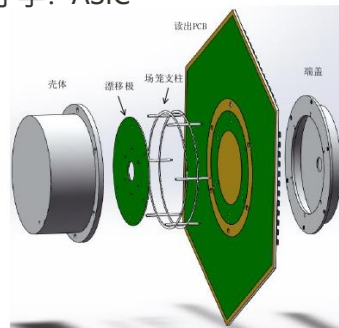
电子学: AGET



## Fission-TPC by CAEP&THU

读出: GEM

电子学: ASIC





# 中子实验测量中的TPC

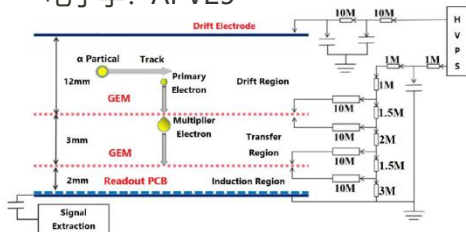
- 中子引发裂变核反应截面测量

## FTPC@LZU

尺寸:  $\varnothing 55\text{cm} \times 32\text{cm}$

读出: GEM

电子学: APV25

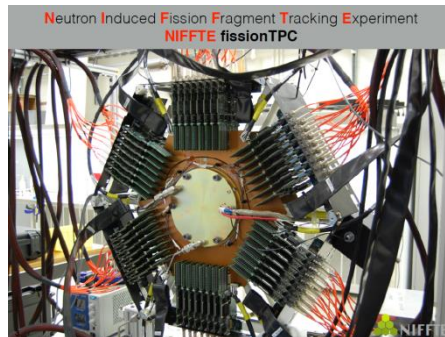
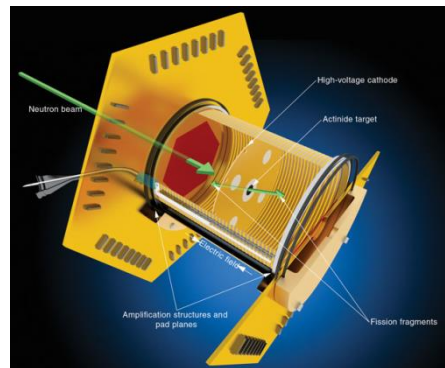


## NIFFTE@LosAlamos

尺寸:  $\varnothing 144\text{mm} \times 108\text{mm}$

读出: Micromegas

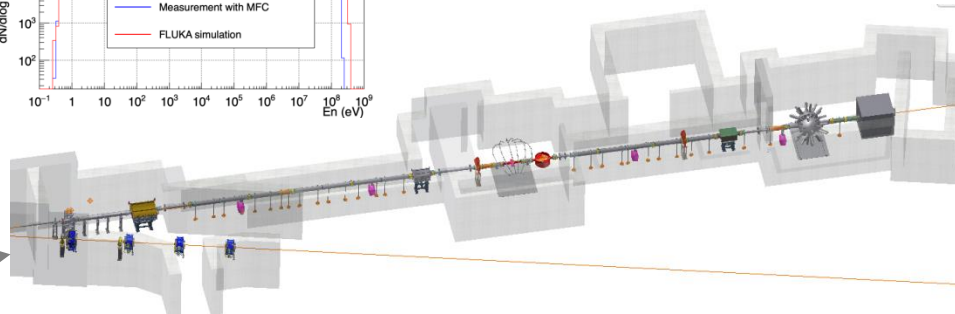
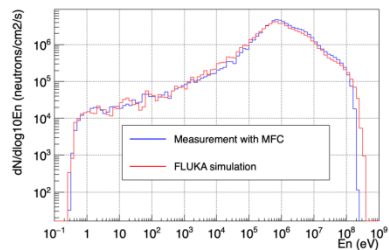
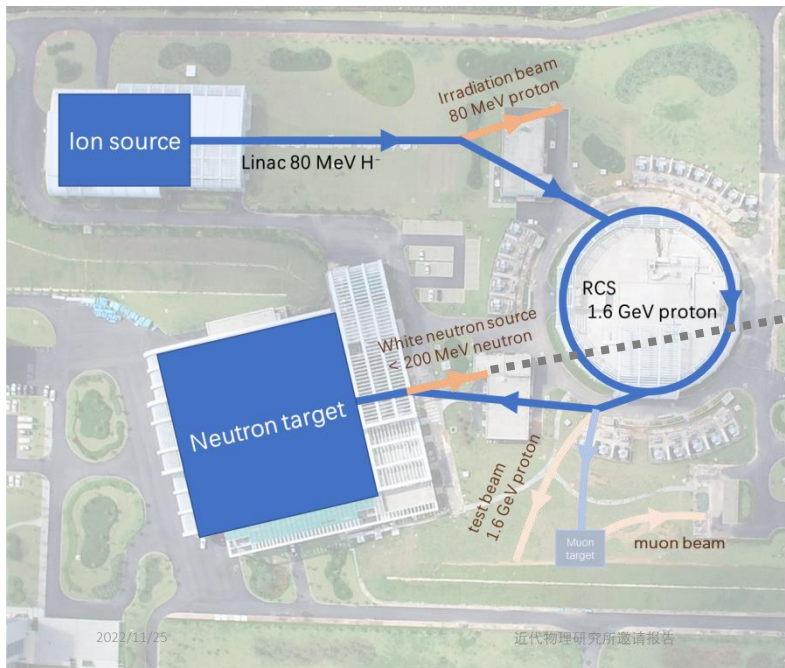
电子学: 定制



# 报告内容

- 时间投影室历史回顾
- 时间投影室的应用
- **散裂中子源MTPC研究进展**
- 报告总结

# 项目概况



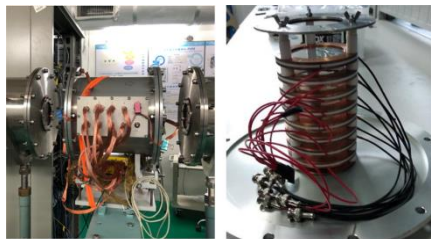
- CSNS反角白光中子源：国内首条宽能区强流白光中子束线
- 覆盖能区：热中子~300MeV，流强：~10<sup>7</sup>/cm<sup>2</sup>/s
- 中子核数据测量研究：
  - 裂变截面
  - 全截面测量
  - 轻带电粒子出射反应截面测量
  - 中子俘获反应截面测量



# 早期带电粒子探测器装置

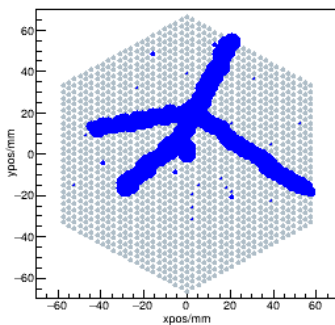


- LPDA: 轻带电粒子探测器阵列
- 特点: 16个  $\Delta E$ - $\Delta E$ -E 单元、立体角 $\sim 0.2\%$ 、测量轻粒子(p,d,t, $\alpha$ )



- FIXM: 裂变电离室
- 特点: 8个读出通道、无空间分辨、立体角 $2\pi$ 、测量重核

Event track display in x-y plane.



- 对于复杂产物核反应, LPDA和FIXM均无法进行测量
- 需要高空间分辨、大立体角、复杂反应道测量能力的探测器系统
- 提出多用途时间投影室(Multi-purpose TPC)解决方案

# 项目概况

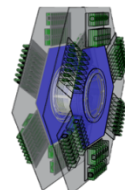


2019年8月：  
探测器设计加工



2021年1月：  
完成专用电子学  
系统研制和测试

2021年4月：  
模拟与数据分析程  
序框架开发



2021年8月：  
开始v2版本探测  
器设计和加工

2022年4月：  
完成v2版本读出板转  
接板和气压腔体加工

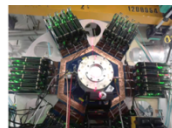


2019年12月：  
v1版本探测器研  
制及DAQ开发



2020年3月：  
开始专用电子学  
系统研制

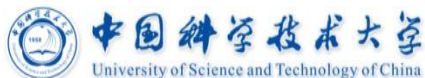
2021年2月：  
开展专用电子学和探  
测器联合束流测试



2022年3月：  
完成v2版本DAQ及  
在线显示开发



2023年2月：  
开展首个物理实验





## ● 探测器系统

- 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

## ● 程序框架

- 模拟程序框架、模拟程序物理模型、分析程序框架、数据结构

## ● 实验方法体系

- 数据分析方法：波形分析算法、径迹重建算法等
- 探测器测试方法：x射线、 $\alpha$ 源、宇宙线

## ● 物理实验体系

- 中子核反应标准截面、核物理相关重要截面、重大需求相关截面



## ● 探测器系统

- 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

## ● 程序框架

- 模拟程序框架、模拟程序物理模型、分析程序框架、数据结构

## ● 实验方法体系

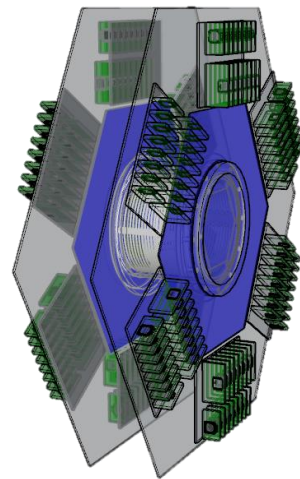
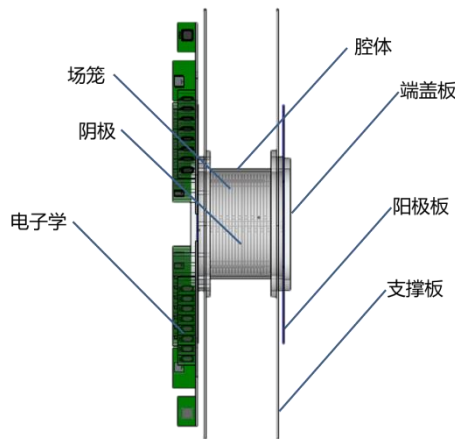
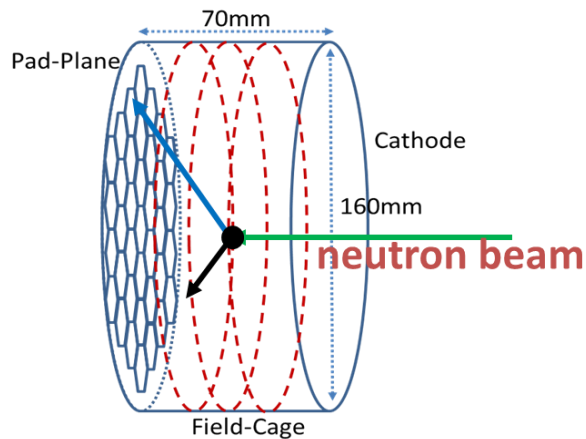
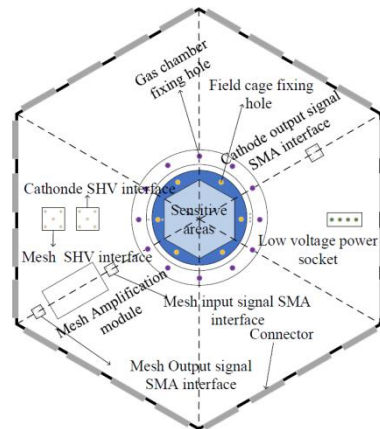
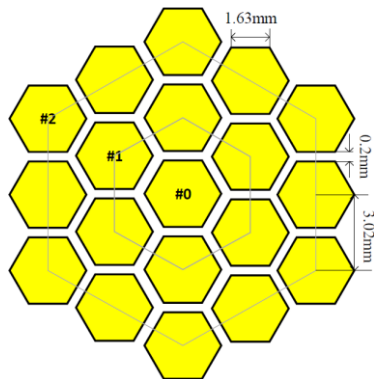
- 数据分析方法：波形分析算法、径迹重建算法等
- 探测器测试方法：x射线、 $\alpha$ 源、宇宙线

## ● 物理实验体系

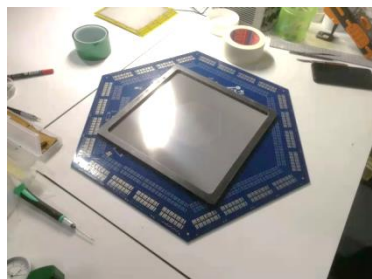
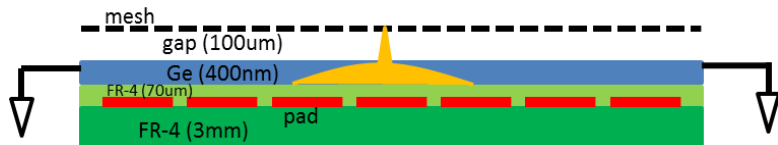
- 中子核反应标准截面、核物理相关重要截面、重大需求相关截面

# 探测器结构

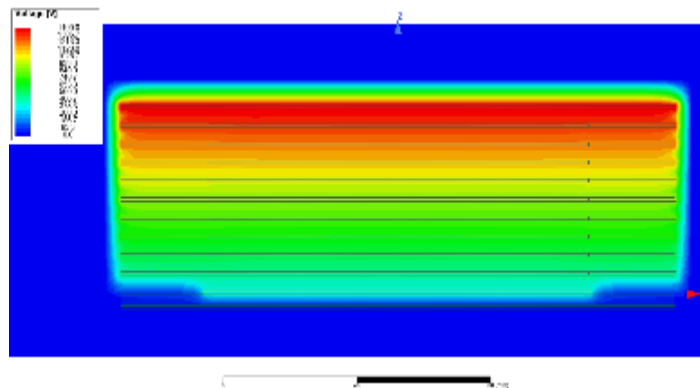
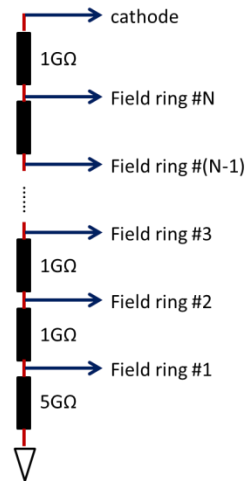
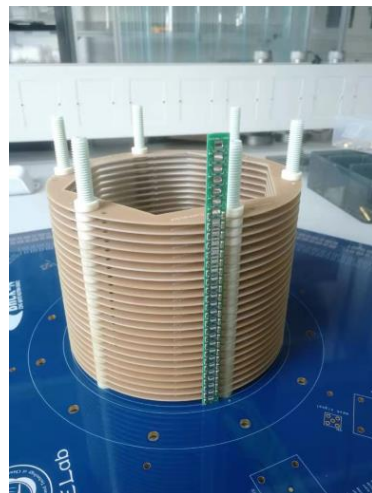
- 场笼结构为圆柱体
- 漂移区距离可调，适应不同实验需求
- 电子增益结构采用Micromegas
- 读出阵列采用六边形密堆结构
- 1519个阳极pad，每个pad边长64mil，阳极区边长约68mm



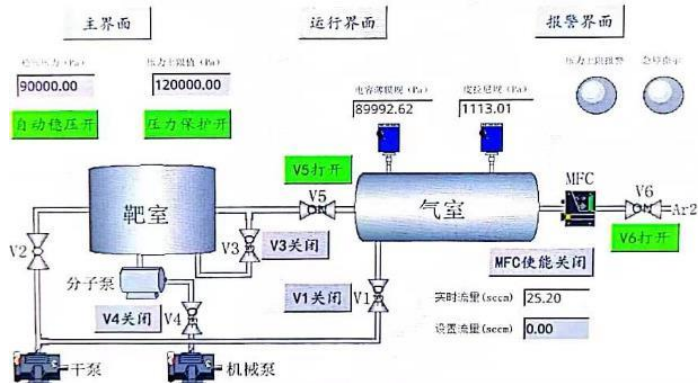
# 探测器结构



- 阳极板表面镀400nm高阻锗层，增加高压下的稳定性
- 热压接技术制作Micromegas增益结构@USTC;
- mesh参数: 不锈钢丝直径16µm、厚度25µm、LPI-400
- 透过率55%、张力30N;
- 增益区厚度100µm，支撑柱直径1mm，间隔10mm
- 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
- 电阻值按照雪崩漂移场强比200配置，对应最佳电子透过率



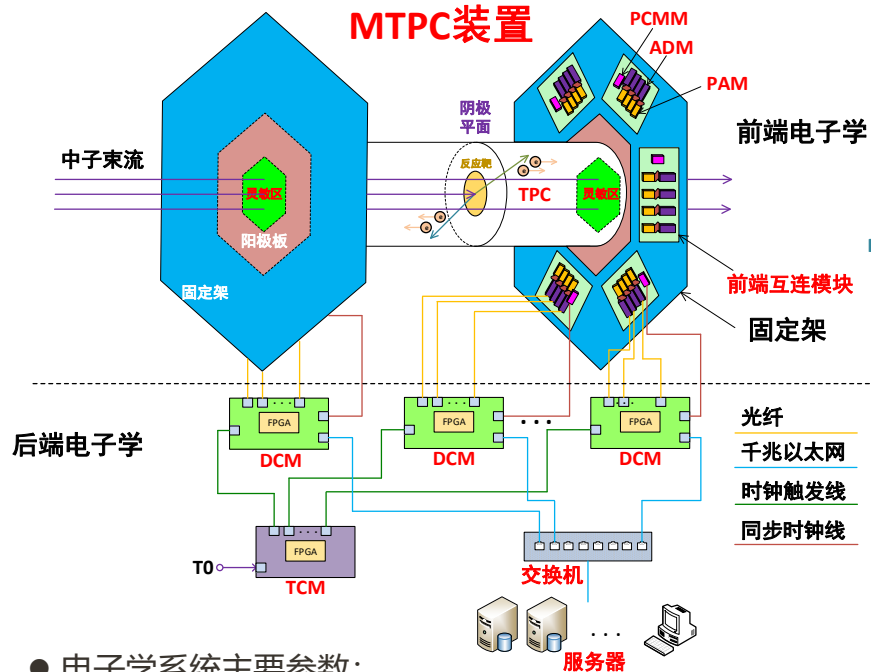
# 气压气路系统



- 可设定气压值 (0~5atm) ， 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



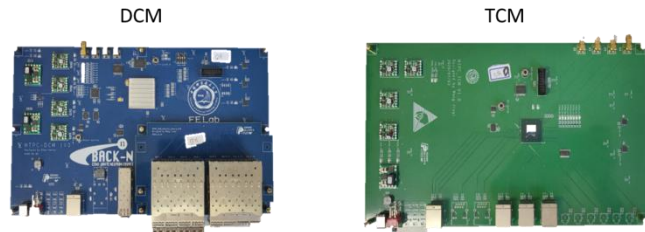
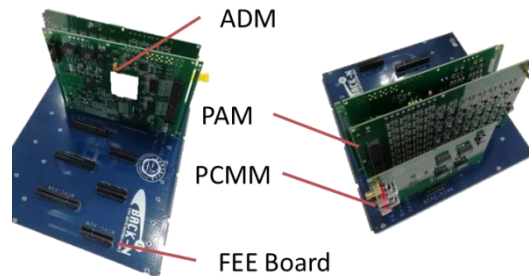




● 电子学系统主要参数:

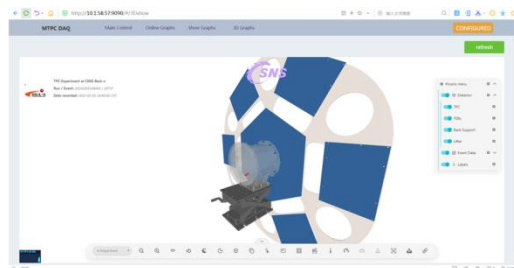
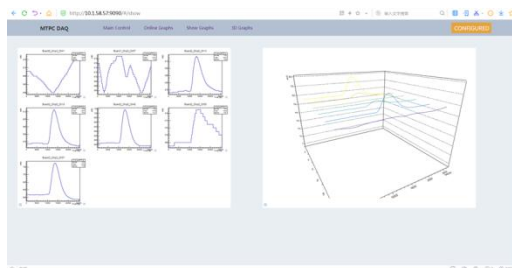
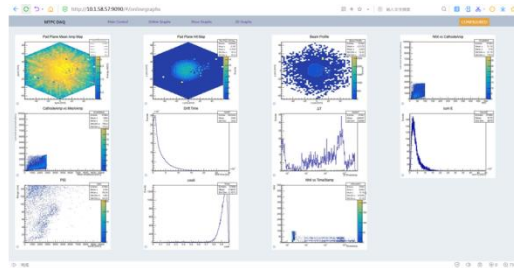
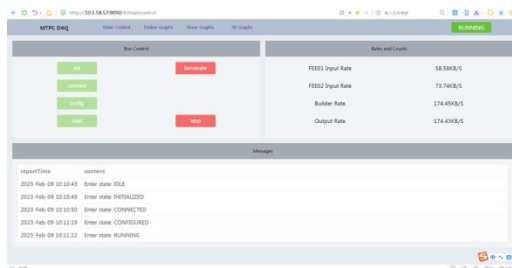
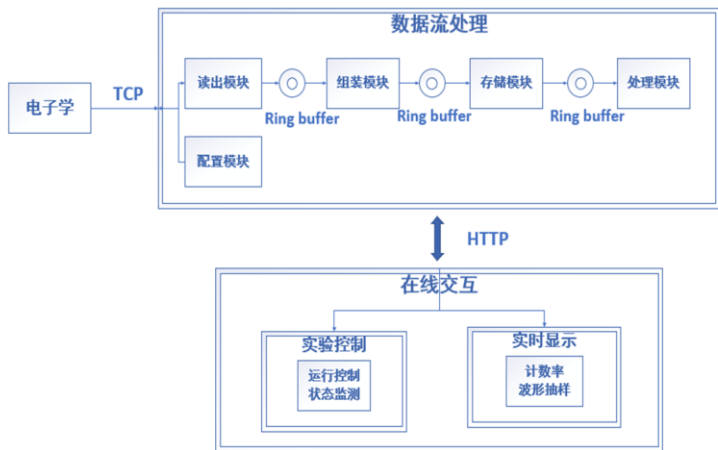
- 共1536通道 (MTPC使用1521通道)
- 波形采样频率: 40MHz
- 触发采样窗宽度: 1024采样点
- ADC位数: 12bit

- PAM(前放)  
Pre-Amplifier Module
- ADM(数字化)  
Analog-to-Digital Module
- PCMM(电源时钟管理)  
Power Clock Management Module
- DCM(数据汇总)  
Data Concentrator Module
- TCM(时钟触发)  
Trigger Clock Module





# DAQ软件和在线显示



## 数据处理软件 (DAQ 核心)

负责承载与数据流相关的工作：  
数据的接收、组装、存储和处理



## 在线交互软件

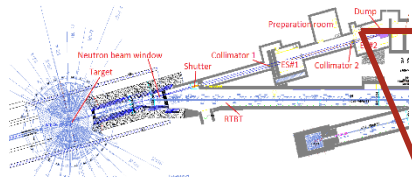
向上提供用户服务：执行、反馈  
向下与数据流子系统信息传递

# 中子TOF实验测量

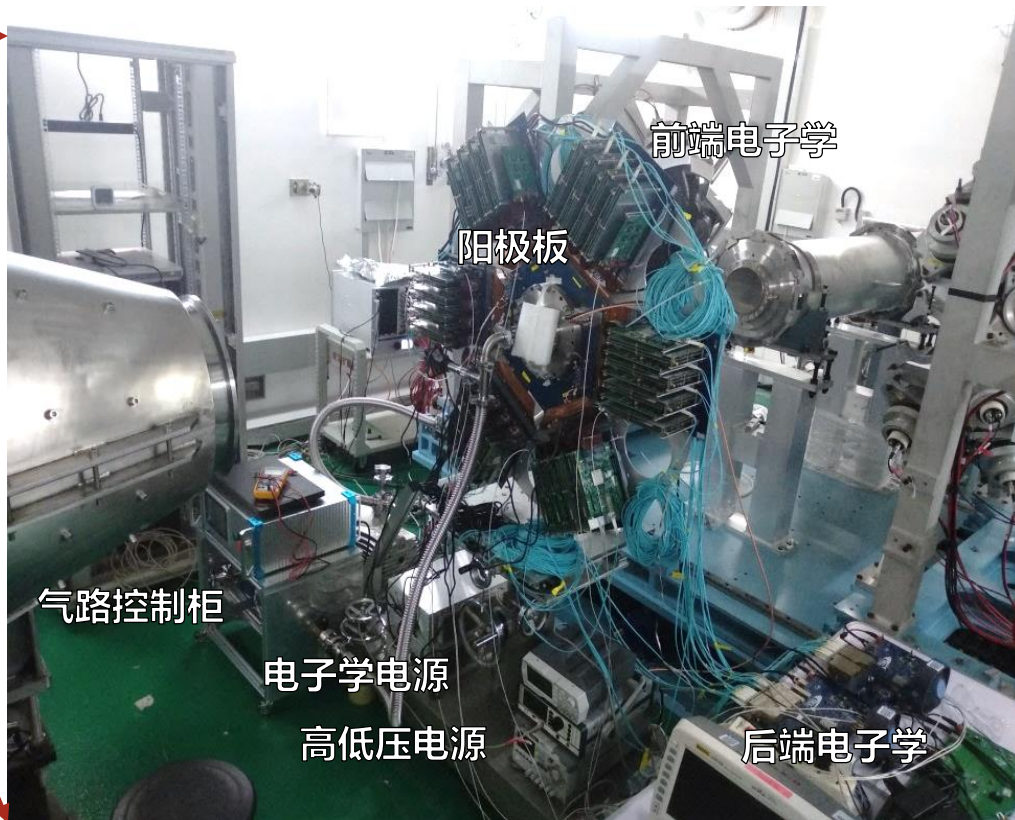
- 为了测量中子TOF和漂移时间，需要采集阴极信号
- $TOF = T1 - T0$
- $Td = T2 - T1$
- 阴极信号需要具有高信噪比



# MTPC探测器系统束流测试



- TPC位于厅二
- 阳极板距离散裂靶中心77m
- 主要测量目标反应： $6\text{Li}(n,t)4\text{He}$
- 束斑：1mmGd-6cmPb- $\phi$ 12- $\phi$ 15- $\phi$ 40





## ● 探测器系统

- 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

## ● 程序框架

- 模拟程序框架、模拟程序物理模型、分析程序框架、数据结构

## ● 实验方法体系

- 数据分析方法：波形分析算法、径迹重建算法等
- 探测器测试方法：x射线、 $\alpha$ 源、宇宙线

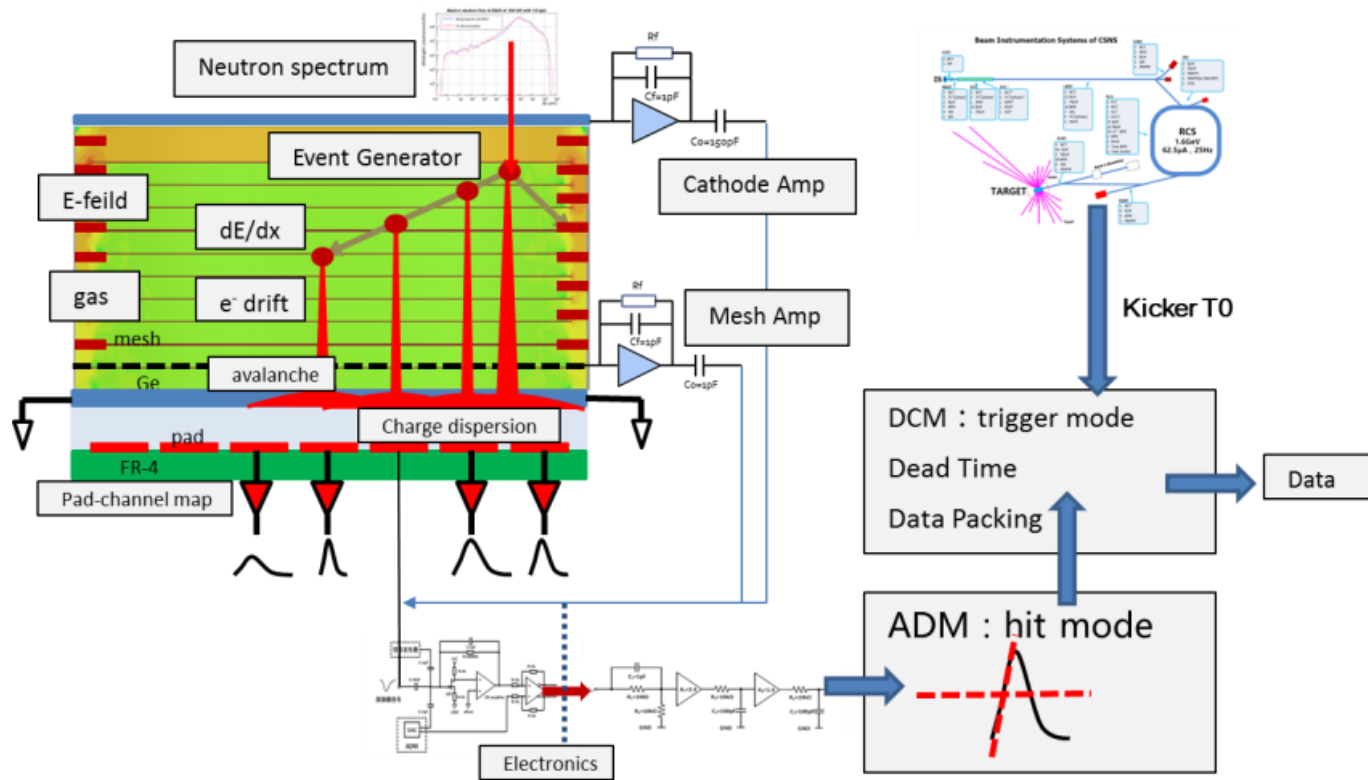
## ● 物理实验体系

- 中子核反应标准截面、核物理相关重要截面、重大需求相关截面

# 模拟框架

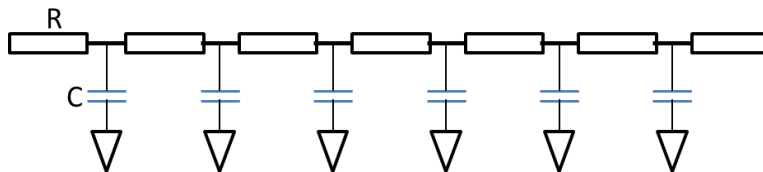
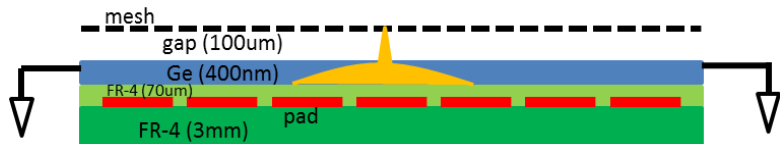
● 模拟程序框架包含所有的物理和电荷过程

- 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



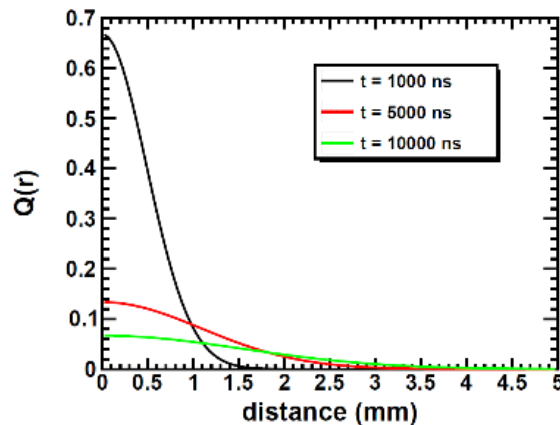
# 模拟物理模型-阻性层电荷扩散

- 雪崩产生的电荷沉积在阻性锗层上向周围扩散。雪崩中心附近pad上也会产生幅度较小前沿较慢的信号
- 电荷扩散产生的信号大小和快慢，取决于阻性层的面电阻及阻性层与pad层之间的耦合电容



$$\rho_{\delta}(x, y, t) = \left( \frac{1}{2\sqrt{\pi th}} \right)^2 \exp[-(x^2 + y^2)/4th]$$

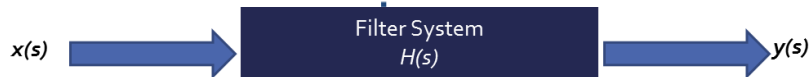
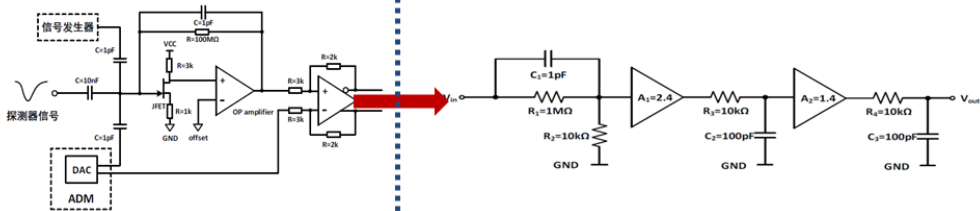
- 电荷扩散呈高斯分布,  $\sigma = \sqrt{\frac{2t}{RC}}$ , 随时间增加 $\sigma$ 增大



# 模拟物理模型-电子学信号卷积

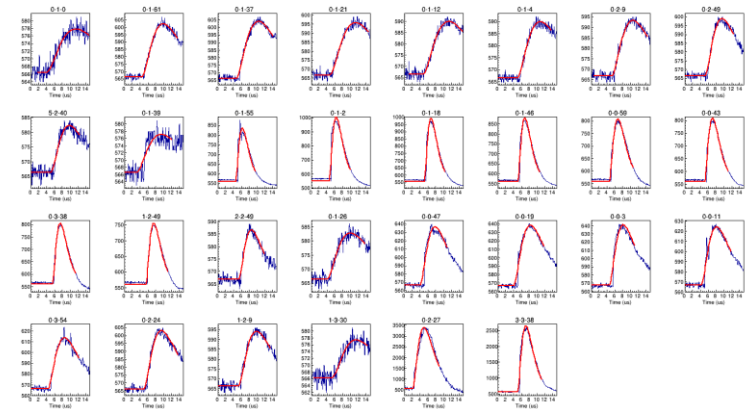
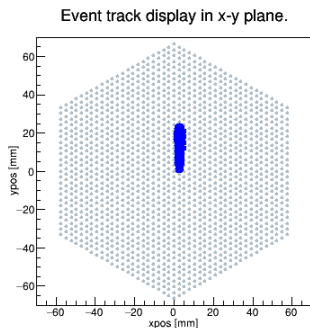
模拟硬件电路：电荷灵敏前放

FPGA数字波形处理：极零-RC1-RC2



$$y(s) = H(s)x(s)$$

模拟得到的 $\alpha$ 粒子事例和波形



●  $Q(t)$ 作为输入信号时的各级电路传递函数：

● 前放  $H(t) = 1/C_0(-\frac{t}{\tau_0} + e^{-\frac{t}{\tau_r}})$

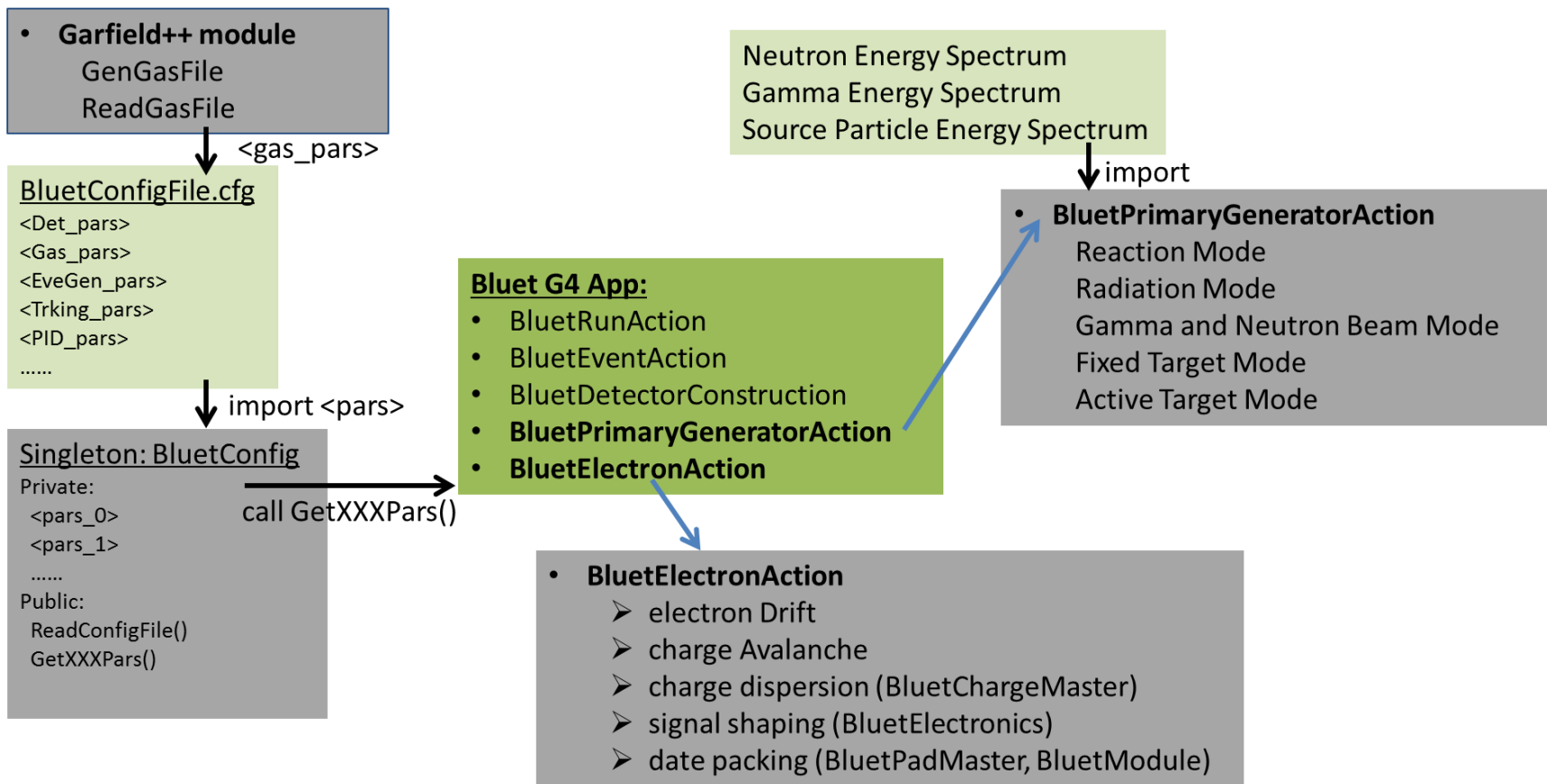
•  $\tau_0 = RC$ , 前放积分时间常数;  $\tau_r$ : 前放信号上升沿时间常数

● 极零  $H(t) = \delta(t) + 1/\tau_0(1 - \frac{\tau_0}{\tau_1})e^{-t/\tau_1}$

•  $\tau_1 = R_2C_1$

● RC电路  $H(t) = 1/\tau_1 e^{-t/\tau_1}$

# 模拟框架





# 分析程序框架

## BluetConfigFile.cfg

```
<Det_pars>
<Gas_pars>
<EveGen_pars>
<Trking_pars>
<PID_pars>
.....
```

import <pars>

call GetXXXPars()

## Singleton: BluetConfig

```
Private:
<pars_0>
<pars_1>
.....
Public:
ReadConfigFile()
GetXXXPars()
```

call GetXXXPars()

## Bluet Analysis App:

```
GenThreshold
Raw2Root
DrawEvent
BluetMap
BluetFactory
BluetLab
```

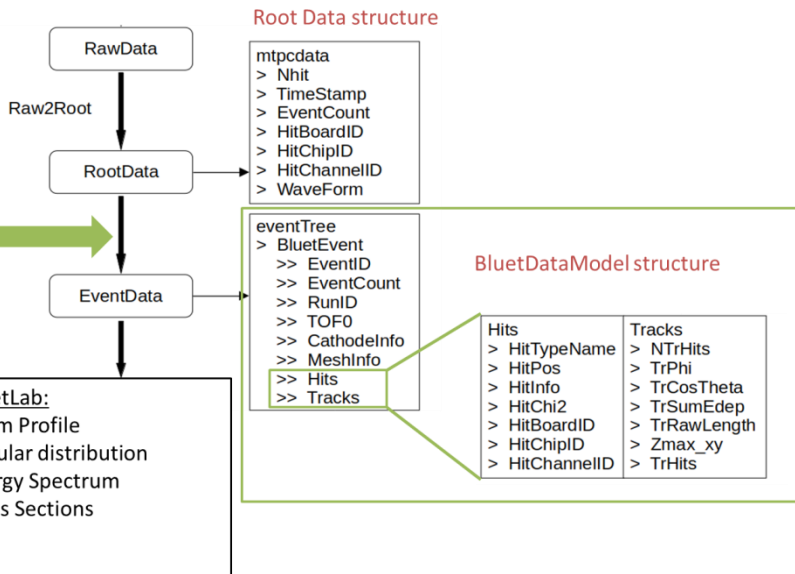
declared in app

## Bluet Classes:

- BluetPointCloud
- BluetSphere
- BluetVector3d
- BluetHough
- BluetHough3D
- BluetWaveFit
- BluetSNChecker
- BluetPadMaster
- BluetWaveformMasterer
- BluetTrackMast

```
BluetFactory:
BluetWaveMaster
BluetTrackMaster
```

```
BluetLab:
Beam Profile
Angular distribution
Energy Spectrum
Cross Sections
... ..
```



# BLUET模拟和分析程序库

- 针对MTPC的模拟和分析，开发了模拟和分析程序框架BLUET
- <https://code.ihep.ac.cn/csns-backn-tpc>

The screenshot displays the Gitee interface for the BLUET-v4 project. The left sidebar contains navigation options like Project overview, Pinned, Issues, Merge requests, and various management tools. The main content area shows the project name 'BLUET-v4' with its ID '3031', statistics for commits, branches, tags, and storage, and a recent commit 'upload FFTTest\_v1.0.C' by user 'yih@ihep.ac.cn'. Below this is a commit history table.

Name	Last commit	Last update
BluetAna	upload FFTTest_v1.0.C	22 hours ago
BluetConfig	Upload ResponseFunction File	3 days ago
BluetSim/BluetGarfield++	commit BLUET-v4	1 month ago
myBluetData	add notes in myBluetData/Work	1 week ago
myBluetWork	add notes in myBluetData/Work	1 week ago
yihBluetWork	upload FFTTest_v1.0.C	22 hours ago
README.md	Initial commit	1 month ago



## ● 探测器系统

- 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

## ● 程序框架

- 模拟程序框架、模拟程序物理模型、分析程序框架、数据结构

## ● 实验方法体系

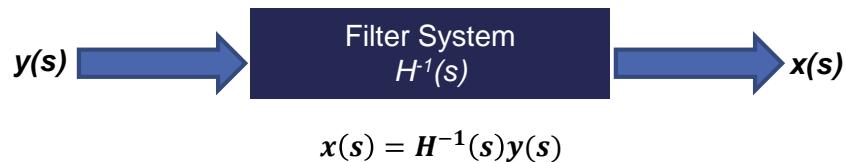
- 数据分析方法：波形分析算法、径迹重建算法等
- 探测器测试方法：x射线、 $\alpha$ 源、宇宙线

## ● 物理实验体系

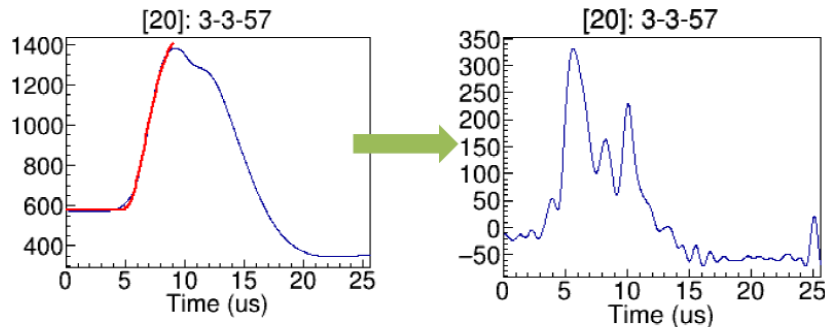
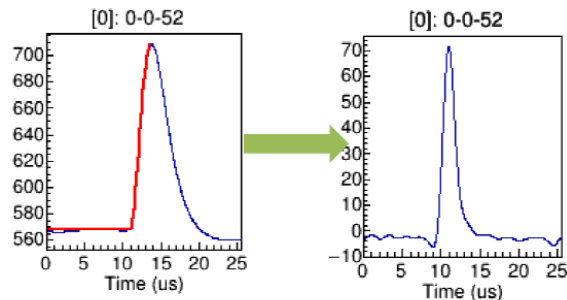
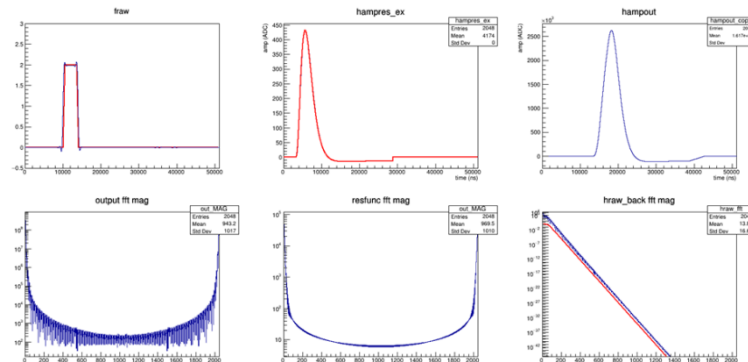
- 中子核反应标准截面、核物理相关重要截面、重大需求相关截面

# 波形分析

- 采样快速傅里叶变换方法 (FFT) 对波形进行反演重建
- 提高时间分辨率和多事例分辨能力



## 方波算法测试



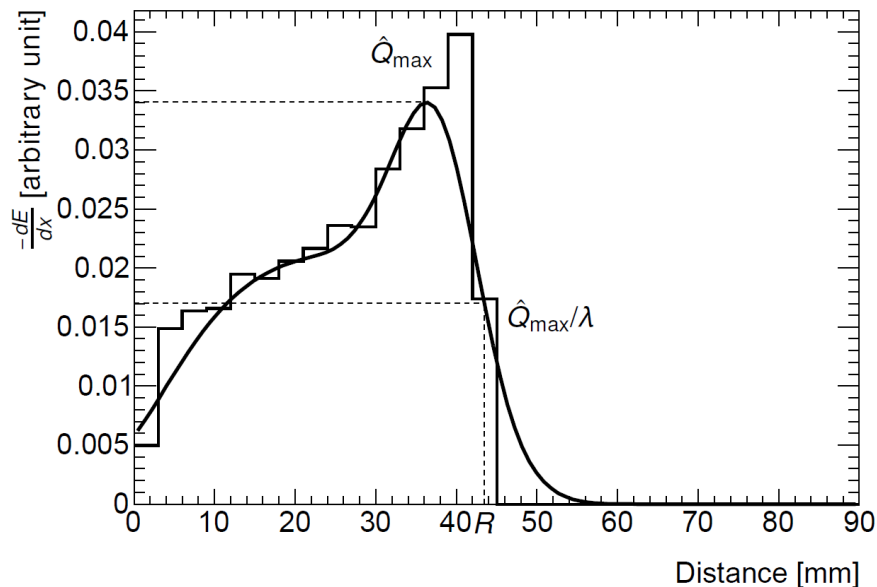
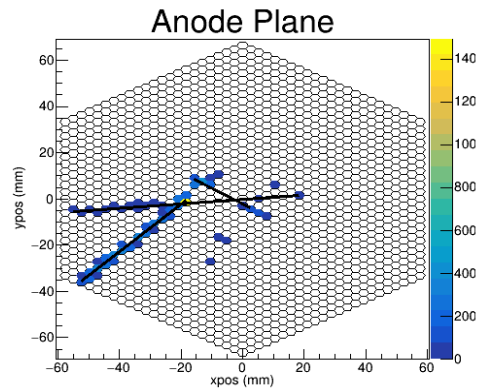
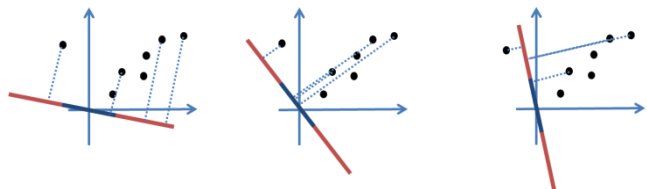
# 径迹重建

## ● 径迹查找：

- 在Hough空间中找到最大值，落在最大值bin内的点认为属于一条直线；

## ● 径迹长度：

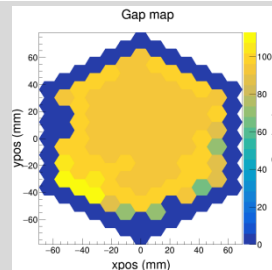
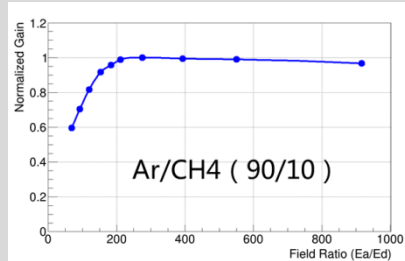
- 将重建之后的数据径迹的点火pad向径迹方向投影，得到沿径迹方向的 $dE/dx$ 分布
- 使用KDE算法对 $dE/dx$ 分布进行平滑
- 取径迹起点至 $Q_{\max}/\lambda$ 对应点位粒子射程， $\lambda=2$



# 探测器测试

## ● x射线放射源测试:

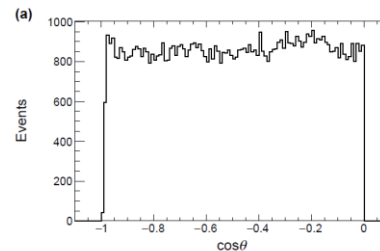
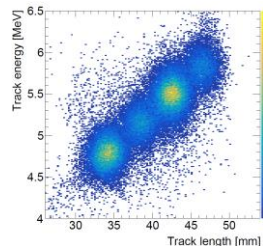
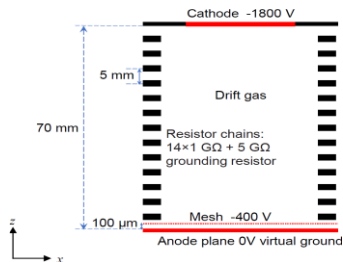
- 透过率曲线
- 增益曲线
- gap均匀性



详见TPC分会场: 吕游《MTPC的雪崩放大气隙刻度》

## ● α放射源测试:

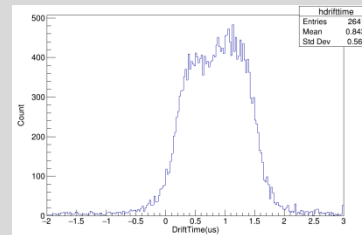
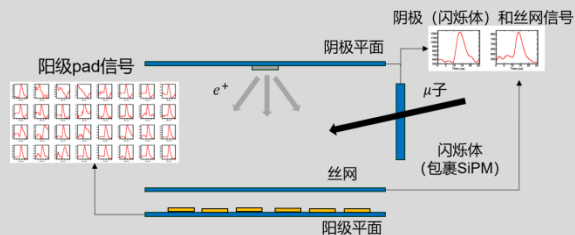
- 能量射程分辨
- 漂移速度
- 角分布



详见TPC分会场: 李祥《Performance Study of the Multipurpose Time Projection Chamber (MTPC) Using a Four-Component Alpha Source》

## ● 宇宙线测试:

- 漂移时间分布
- 空间分辨
- 电场均匀性







## ● 探测器系统

- 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

## ● 程序框架

- 模拟程序框架、模拟程序物理模型、分析程序框架、数据结构

## ● 实验方法体系

- 数据分析方法：波形分析算法、径迹重建算法等
- 探测器测试方法：x射线、 $\alpha$ 源、宇宙线

## ● 物理实验体系

- 中子核反应标准截面、核物理相关重要截面、重大需求相关截面

# 中子核反应标准截面

- 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MTPC进行测量
- 自主开展成体系的标准截面实验测量及数据评价有重要意义

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
<sup>3</sup> He(n,p)	0.0253 eV to 50 keV
<sup>6</sup> Li(n,t)	0.0253 eV to 1 MeV
<sup>10</sup> B(n,α)	0.0253 eV to 1 MeV
<sup>10</sup> B(n,α <sub>1</sub> 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
<sup>235</sup> U(n,f)	0.0253 eV, 7.8-11 eV, 0.15 MeV to 200 MeV
<sup>238</sup> U(n,f)	2 MeV to 200 MeV

## 核物理前沿相关重要截面

- 开展核物理或核天体物理相关的重要核反应测量
- 体现MTPC的技术优势
- 对解决本领域前沿热点问题有重要意义

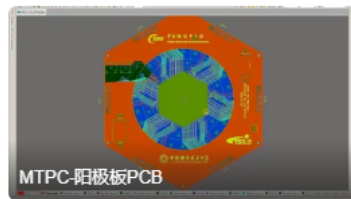
反应	研究进展	技术难度
$^{19}\text{F}(n,a)$	单能点实验@PKU	★★★★★
$^{17}\text{O}(n,a)$	实验计划	★★★★★
$^{12}\text{C}(n,n)3\alpha$ (Hoyle态)	基金课题	★★★★★
$^{12}\text{C}(n,p)$	基金课题	★★★★★
$^{14}\text{N}(n,p)$ 、 $^{14}\text{N}(n,a)$	基金课题	★★★★★

## 国家重大需求相关截面数据

反应	研究意义及研究情况	技术难度
$^{232}\text{Th}(n, f)$	单能点实验@PKU	★★★
$^4\text{He}(n, d)^3\text{H}$	氦氦聚变逆反应	★★★★★
$^{235}\text{U}/^{239}\text{Pu}(n, f)$	高精度裂变数据(<1%)	★★★★★

# MTPC&BLUET在线教程

- MTPC作为公开实验平台对各用户开放
- 为便于用户了解装置和学习实验方法，制作了在线教程@bilibili



从 00:18 开始分享

获取视频分享链接



手机扫码观看/分享



主页 动态 投稿 50 合集和列表 7 收藏 0 订阅 设置 搜索视频、动态

关注数 1 粉丝数 2465 获赞数 2084 硬币数 8万

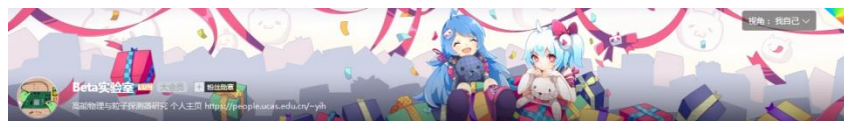
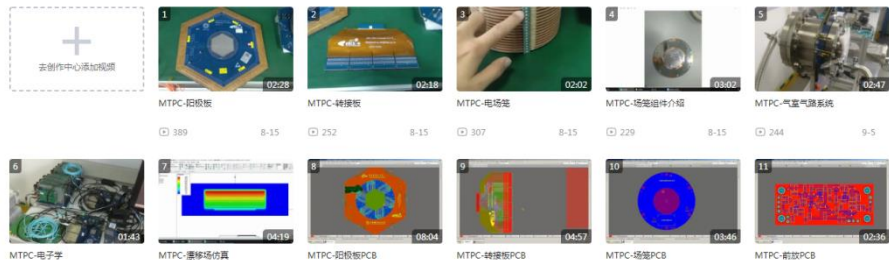
我的合集和视频列表 > 合集时间投影室MTPC

播放全部

合集 | 17个视频 | 9-5更新

默认排序 升序排序

编辑



主页 动态 投稿 50 合集和列表 7 收藏 0 订阅 设置 搜索视频、动态

关注数 1 粉丝数 2465 获赞数 2084 硬币数 8万

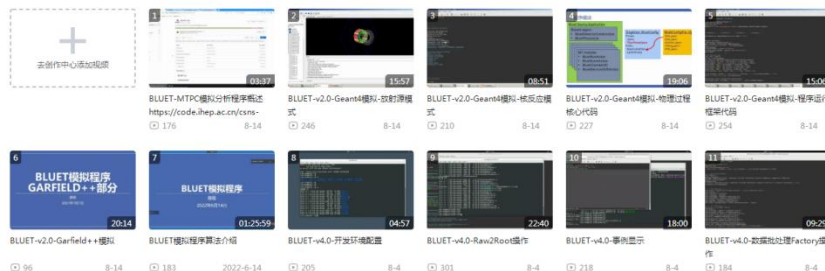
我的合集和视频列表 > 合集时间投影室TPC模拟分析程序-BLUET教程

播放全部

合集 | 13个视频 | 8-14更新

默认排序 升序排序

编辑



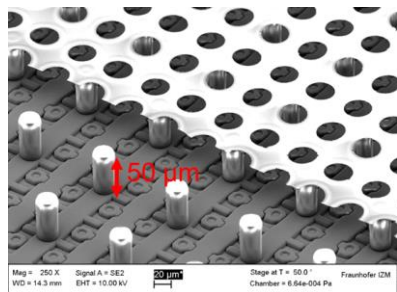
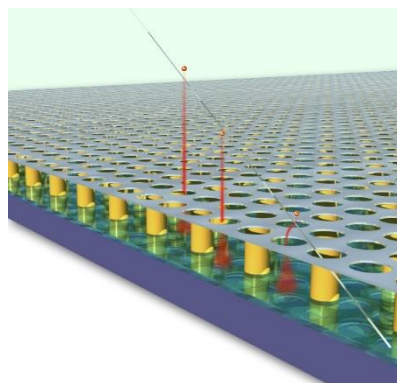
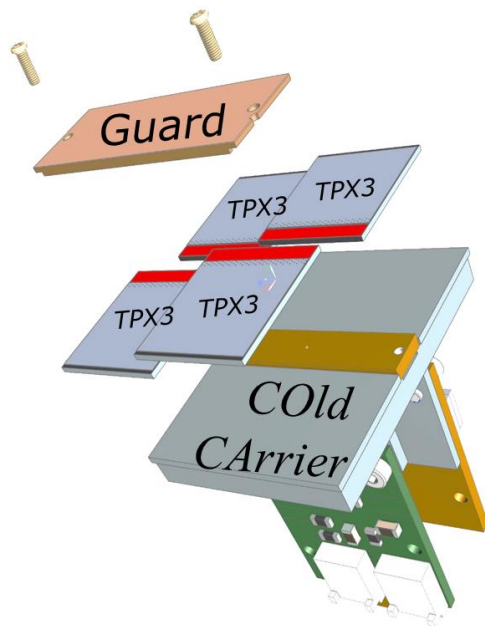
# 报告内容

- 时间投影室历史回顾
- 时间投影室的应用
- 散裂中子源MTPC研究进展
- **报告总结**



# 报告总结

- TPC作为一种重要的气体探测器，在粒子物理、核物理、空间观测等各个领域得到了广泛应用
- 数字型TPC是当前的研究前沿方向之一



## 报告总结

- 几年来随着电子学、探测器技术的发展，国内TPC技术发展迅速
- 粒子物理、核物理等各个领域均有TPC项目正在开展研究
- 期待和国内同行更多学习交流，合作开展研究！

# 谢谢

yih@ihep.ac.cn