

白光中子源轻带电粒子出射实验及MTPC实验 研究进展

轻带电粒子出射实验小组

CSNS反角白光中子实验装置用户研讨会（第七届）

2023年9月21日@西安



中国散裂中子源
China Spallation Neutron Source



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

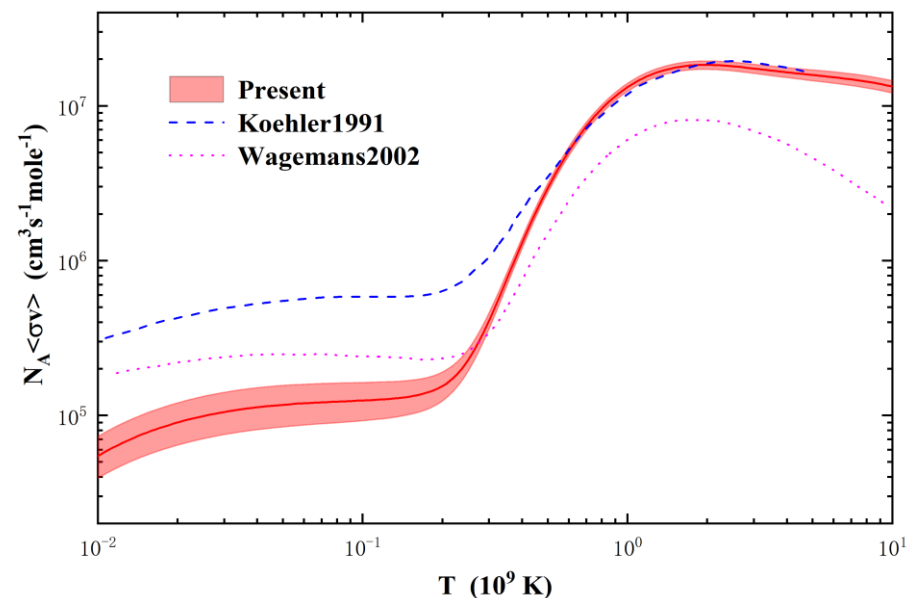
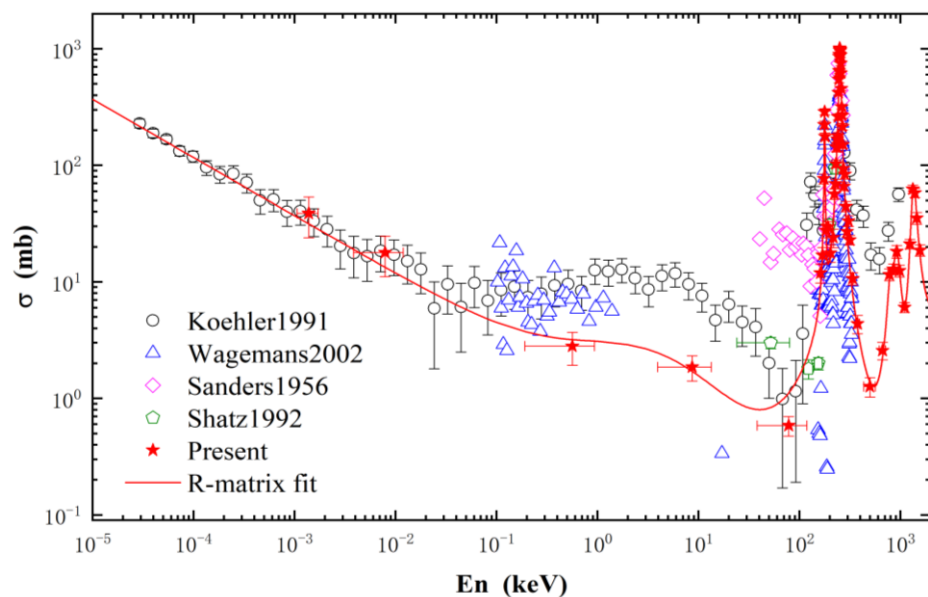
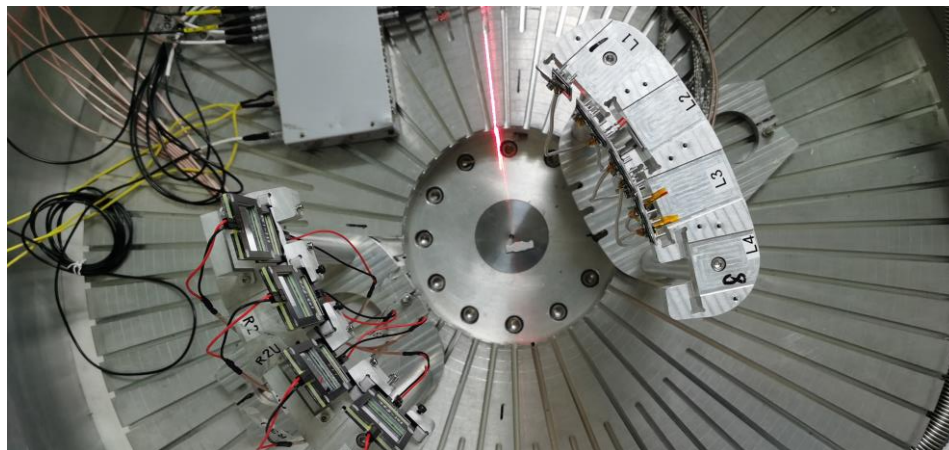
报告内容

- 轻带电粒子出射实验进展
- MTPC实验研究进展
- 研究计划

- 轻带电粒子出射实验进展
 - $^{17}\text{O}(n,\alpha)$ 实验
 - np散射实验
 - 基于金刚石探测器的 $^{12}\text{C}(n,n)3\alpha$ 、 $^{12}\text{C}(n,\alpha_0)$
 - $^{14}\text{N}(n,p)$ 和 $^{14}\text{N}(n,\alpha)$ 实验（详见蒋伟20日进展报告）
 - 基于MTPC的 $^{232}\text{Th}(n,f)$ 实验（详见白浩帆报告）
 - 基于MTPC的 $^6\text{Li}(n,t)$ 实验（见MTPC实验进展部分）
- MTPC实验研究进展
- 研究计划

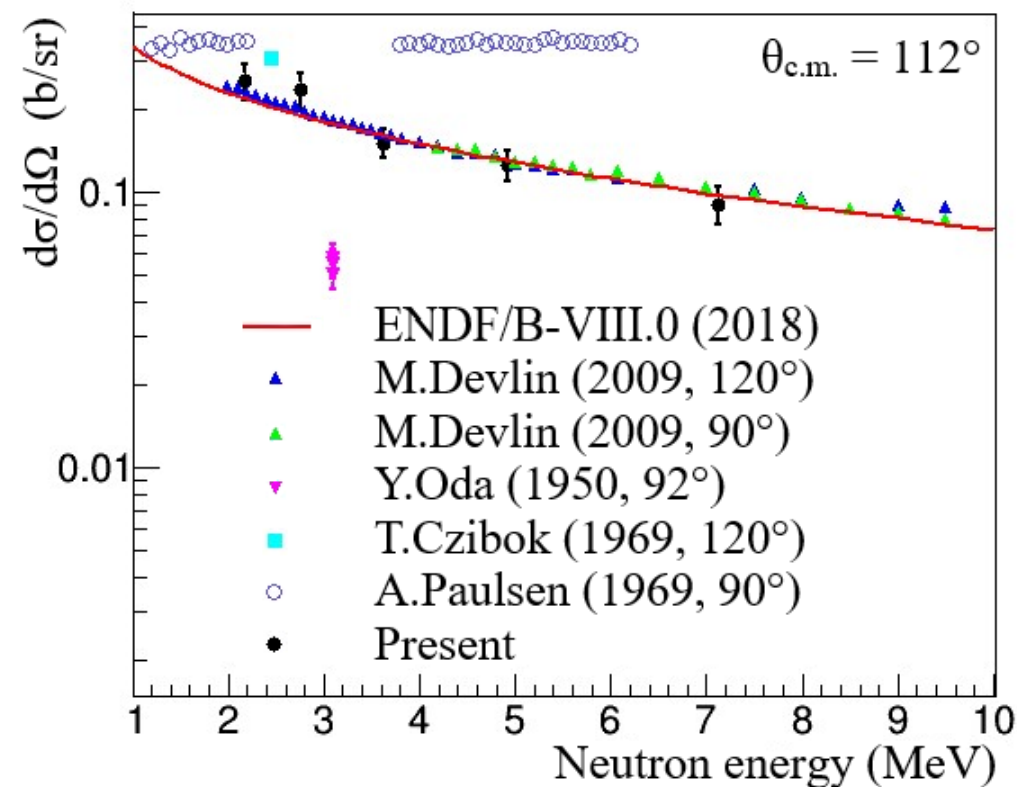
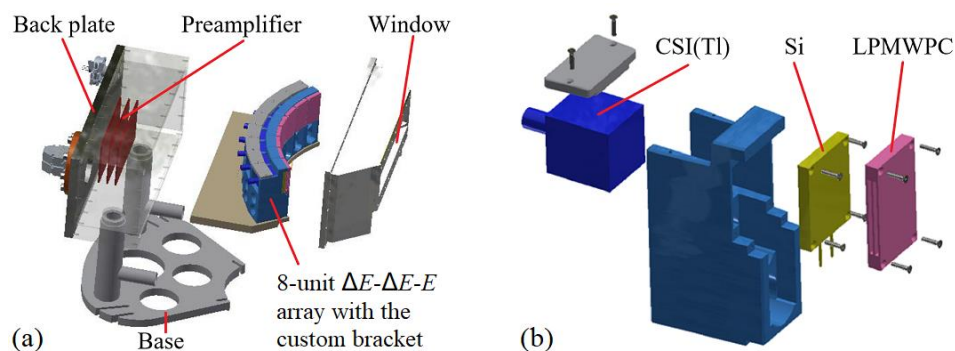
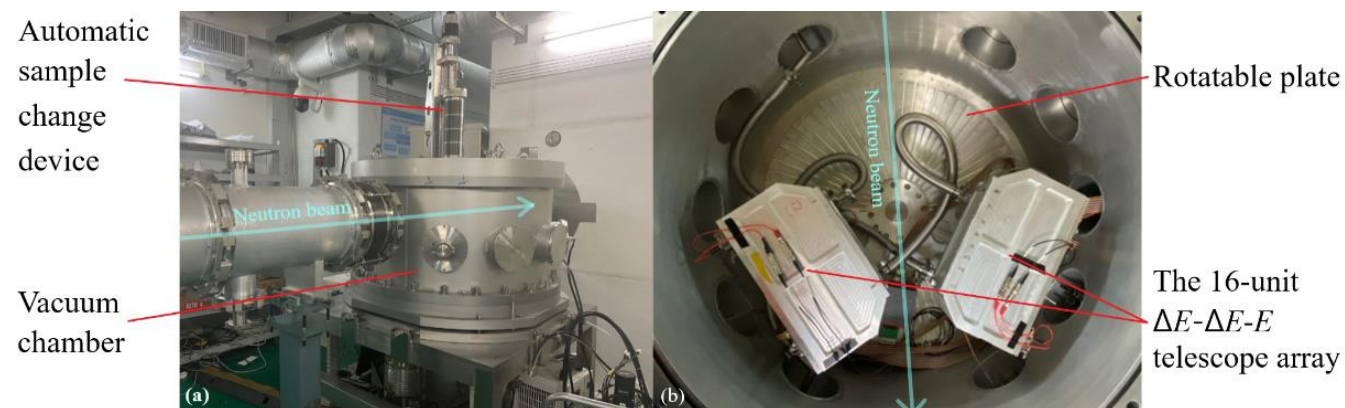
$^{17}\text{O}(n,\alpha)$ 实验

- 实验负责人：李云居（2020年实验）
- W^{17}O_3 靶+Si/SiC探测器阵列
- 实验结果采用AZURE2程序做R矩阵拟合
- 天体关键能区的截面比以前结果低约一个量级
- $T_9 < 0.2$ 的反应率比当前采用结果低约5 ~ 8倍
- 实验的不足：SiC探测器接收立体角较小
- 天体关键能区的截面测量有望采用TPC解决这一问题



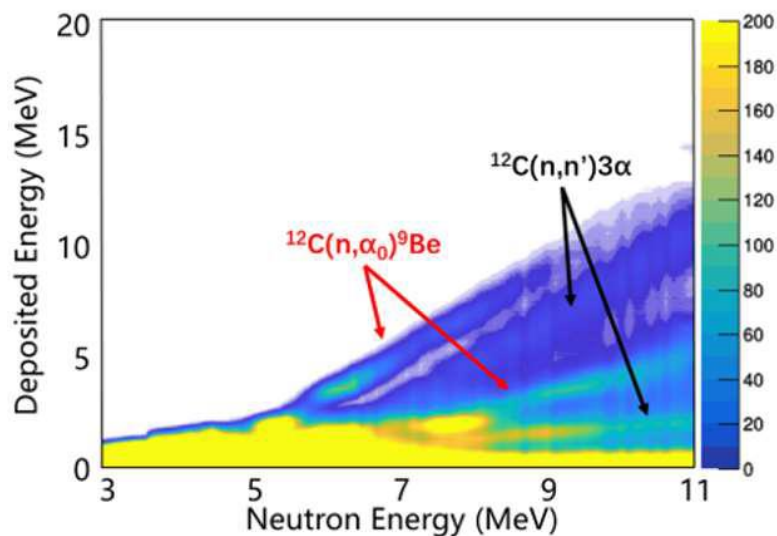
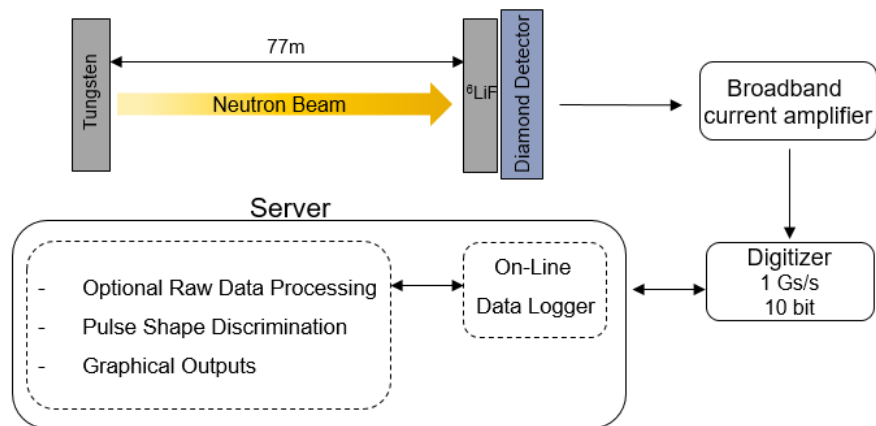
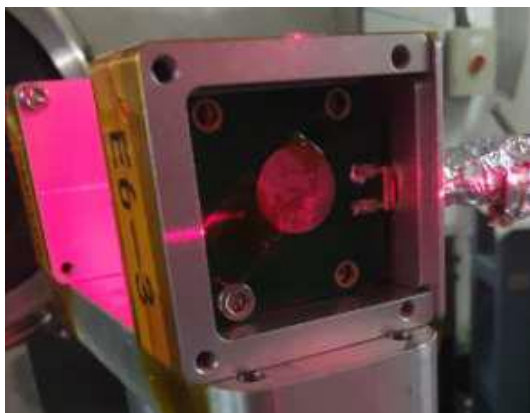
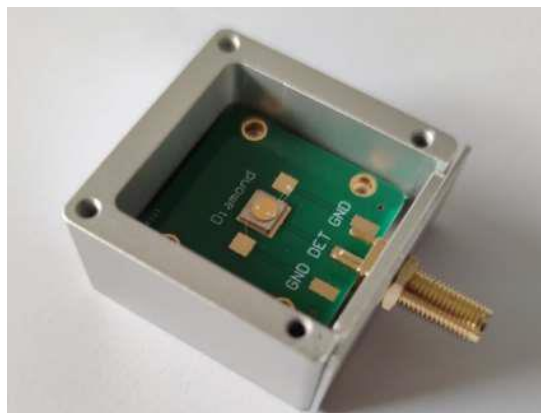
np散射实验

- 实验负责人：孙康（2021年实验）
- 聚乙烯靶+LPDA阵列
- 分析得到一个角度的微分截面
- 文章发表：2023 JINST 18 P04004
- 孙康以此为论文研究内容获得博士学位，并将继续开展博士后研究

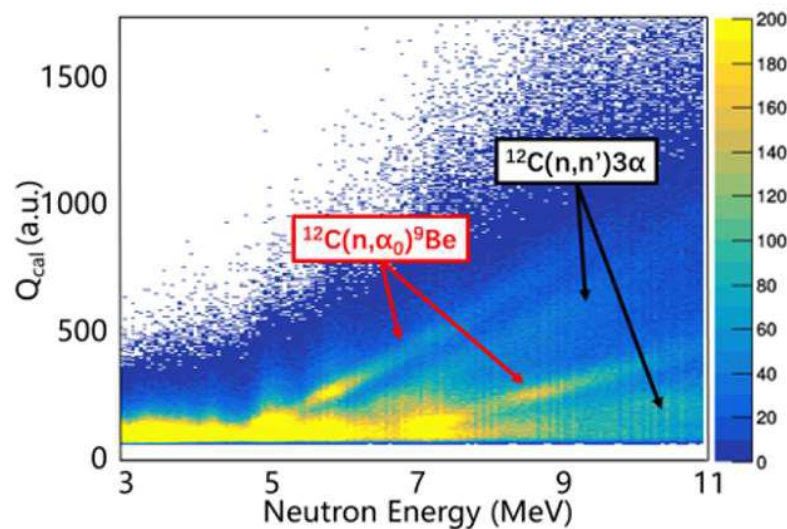


基于金刚石探测器的 $^{12}\text{C}(n,n)3\alpha$ 、 $^{12}\text{C}(n,\alpha_0)$ 测量

- 实验负责人：牛梦臣（2022年实验）
- 得到了 $^{12}\text{C}(n,n)3\alpha$ 、 $^{12}\text{C}(n,\alpha_0)$ 反应的事例分布
- 实验成果文章已发表：<https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168703>



(a)



(b)

报告内容

- 轻带电粒子出射实验进展
- MTPC实验研究进展
- 研究计划

- 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 (70%)

- 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 (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%)

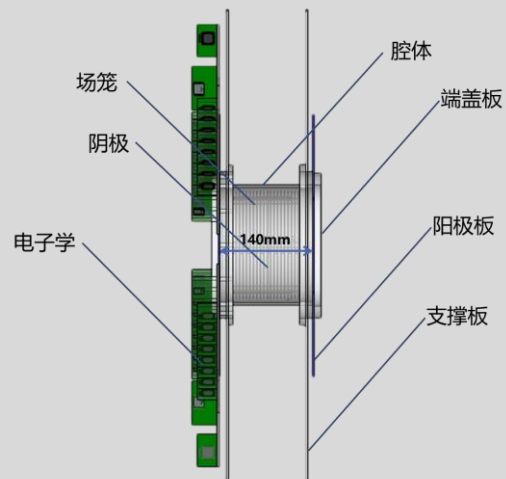
- 中子核反应标准截面
- 核物理相关重要截面
- 国家重大需求相关截面

报告内容

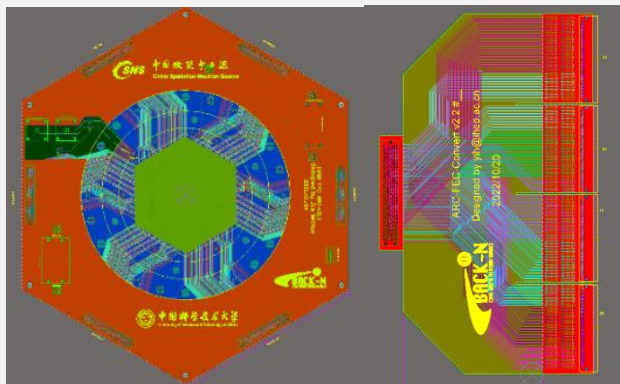
- 探测器系统
 - v2版本升级：气室腔体、阳极板转接板、气路系统
 - 电子学和DAQ
- 模拟分析程序
- 实验方法体系
- 物理实验体系

探测器系统：v2版本升级

- 气室腔体：
 - ▣ 双端读出设计
 - ▣ 腔体承受气压范围0~5bar



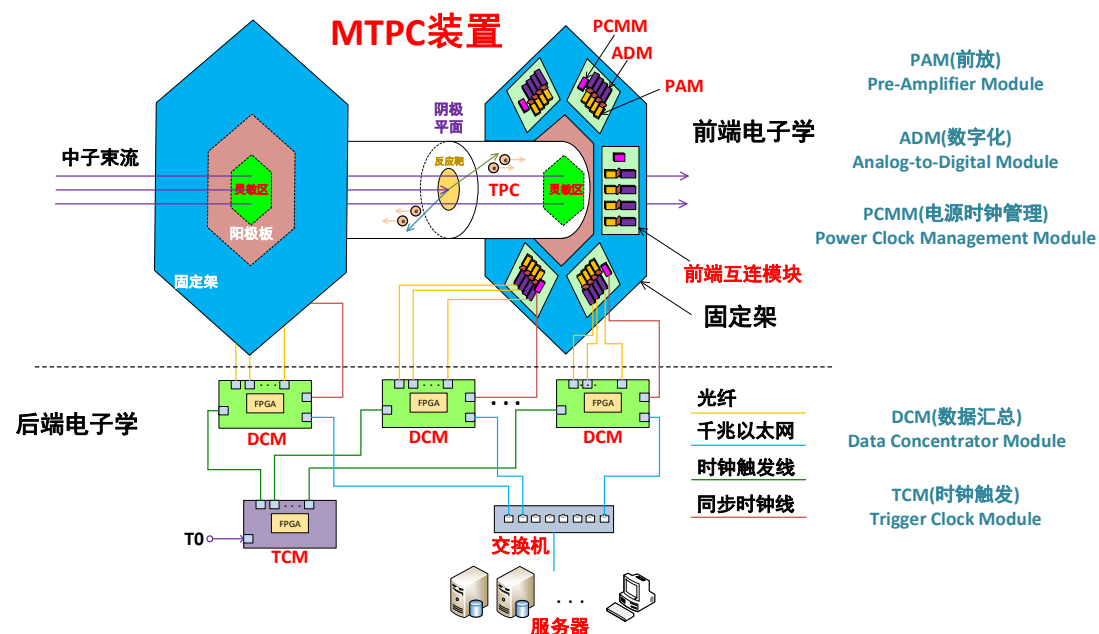
- 阳极板和转接板：
 - ▣ 将pad层设置于inner层
 - ▣ v2转接板刚柔结合板



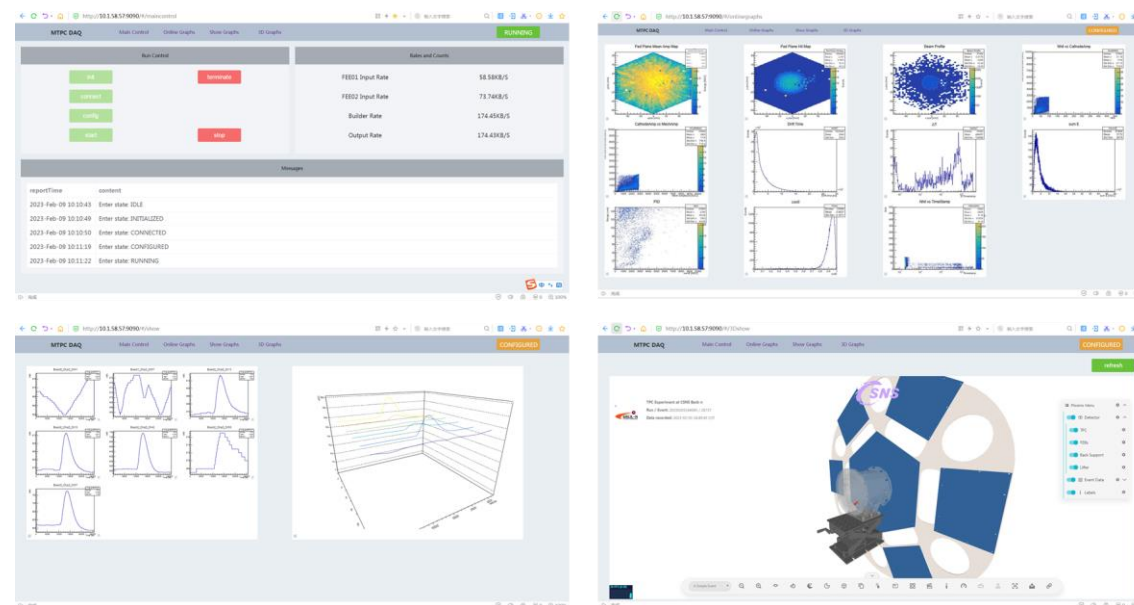
- 气路系统：
 - ▣ 可设定气压值,
 - ▣ 可远程进行压力调节



探测器系统：电子学和DAQ



- 电子学逻辑更新：V2.4.0
 - 时间窗改为双触发+常规触发模式
 - 符合逻辑改为DCM内部符合



- DAQ增加在线显示功能
 - 波形显示
 - 常用一维二维谱显示
 - 事例3D显示

报告内容

- 探测器系统
- 模拟分析程序
 - 模拟程序框架
 - 数据分析流程与数据结构
- 实验方法体系
- 物理实验体系

BLUET模拟和分析程序

- 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>

 + 🔍

BLUET-v4

Project overview

Pinned

Issues 0

Merge requests 1

Manage

Plan

</> Code

Build

Secure

Deploy

Operate

Monitor

Analyze

Settings

CSNS Back-n MTPC > BLUET-v4

 **BLUET-v4** 
Project ID: 3031 

28 Commits 2 Branches 0 Tags 202.7 MiB Project Storage

 **upload FFTTest_v1.0.C**
yih@ihep.ac.cn authored 22 hours ago 5629ad24 

main bluet-v4 +

History Find file Edit ↓ ↓ Clone ↓

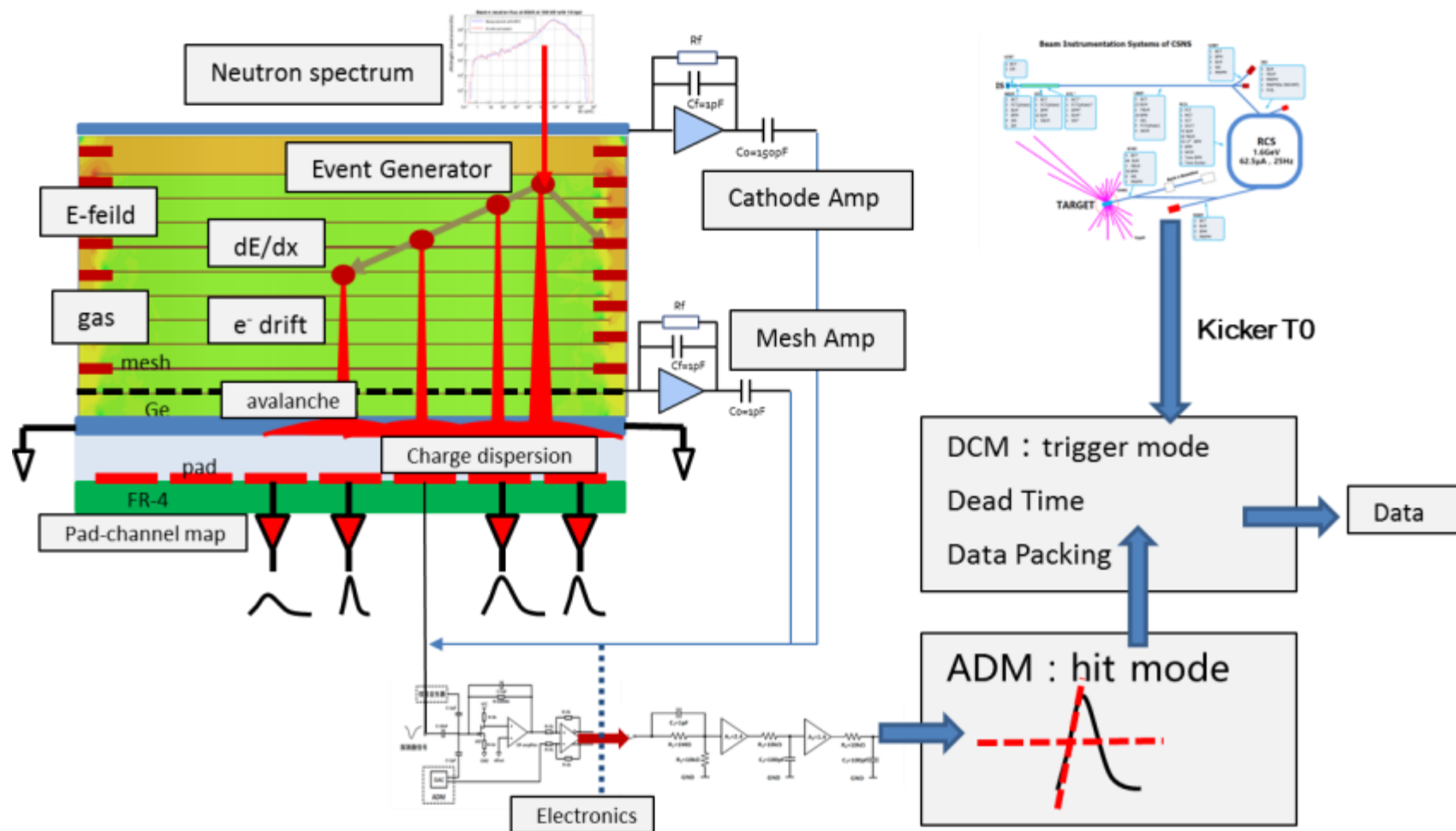
 README  Auto DevOps enabled  Add LICENSE  Add CHANGELOG  Add CONTRIBUTING  Add Kubernetes cluster  Add Wiki  Configure Integrations

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

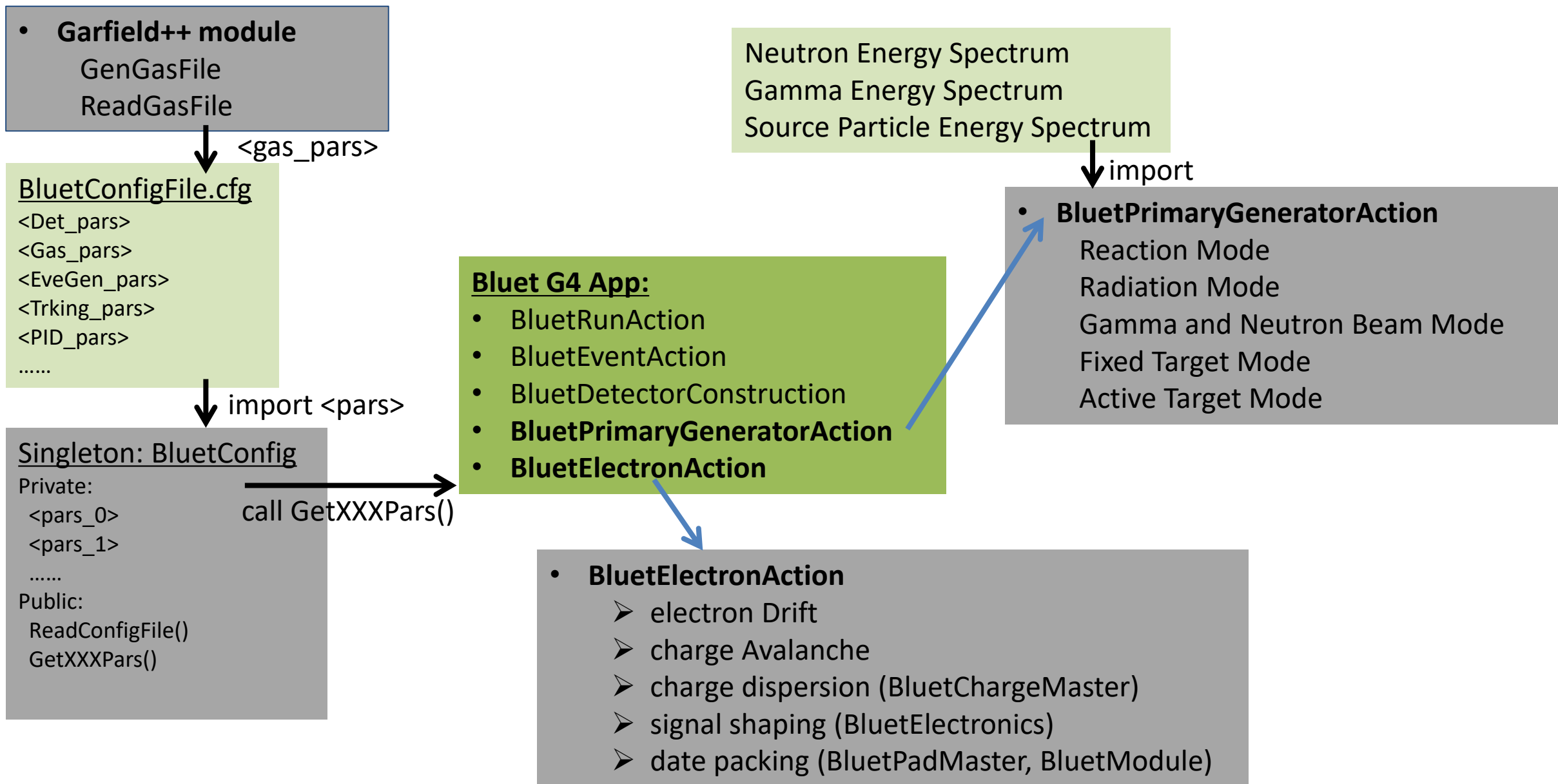
BLUET模拟程序框架

- 模拟程序框架包含所有的物理和电荷过程

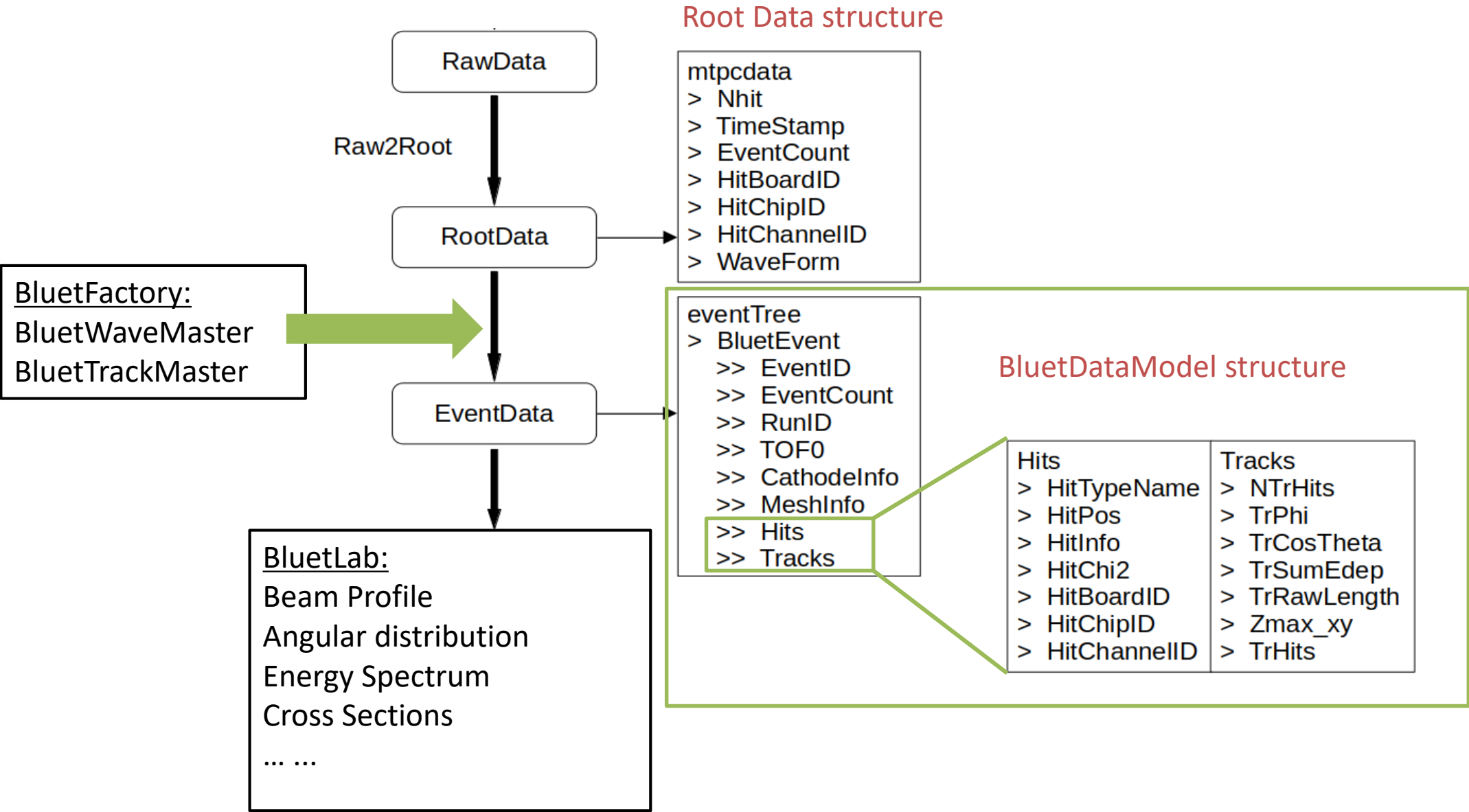
- ✓ 气体参数
- ✓ 中子能谱
- ✓ 事例产生器
- ✓ 电离过程
- ✓ 电子漂移
- ✓ 电子雪崩
- ✓ 电荷扩散
- ✓ 电子学模型
- ✓ 阴极和mesh波形
- ✓ Hit与Trigger



BLUET模拟程序框架



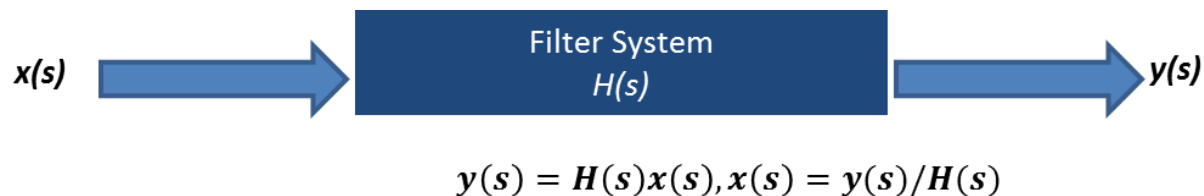
BLUET数据分析流程与数据结构



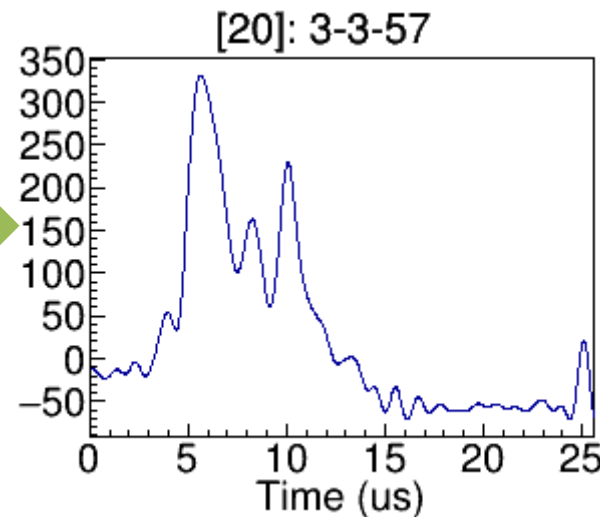
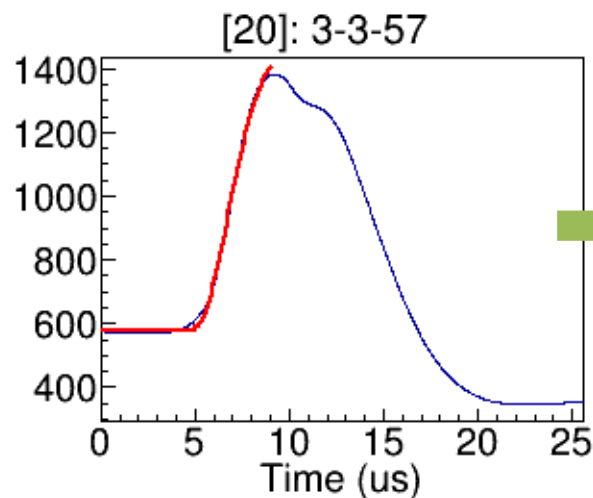
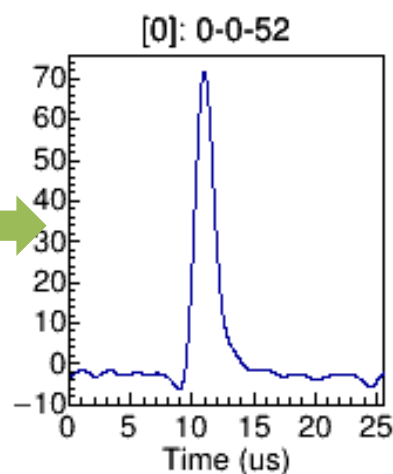
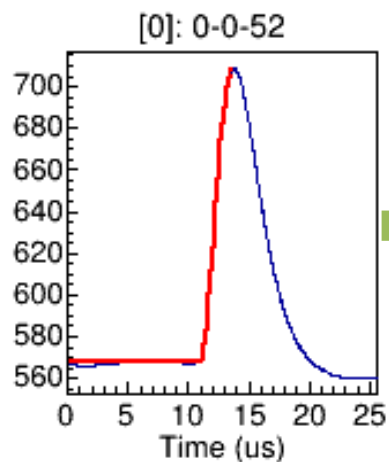
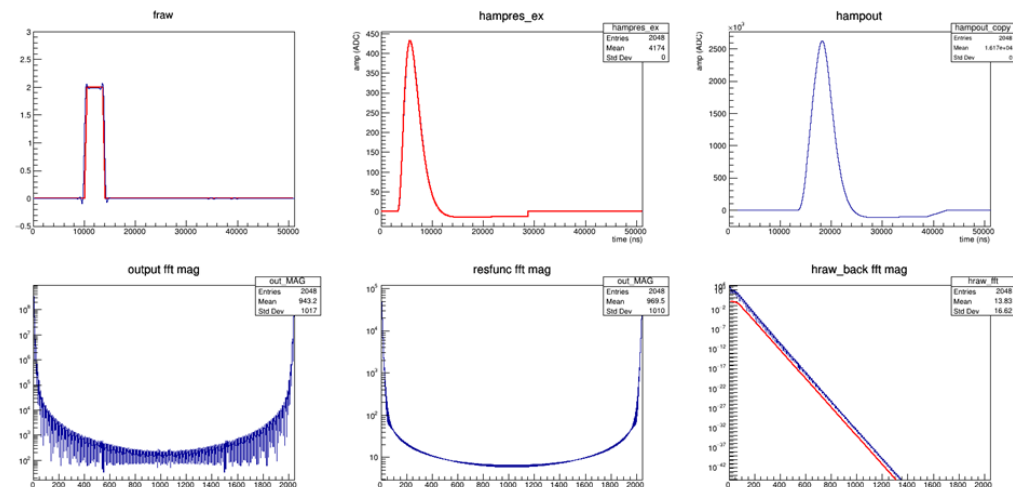
报告内容

- 探测器系统
- 模拟分析程序
- 实验方法体系
 - 数据分析方法（波形分析、径迹重建）
 - 探测器测试方法（x射线源测试、 α 源测试、宇宙线测试）
- 物理实验体系

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

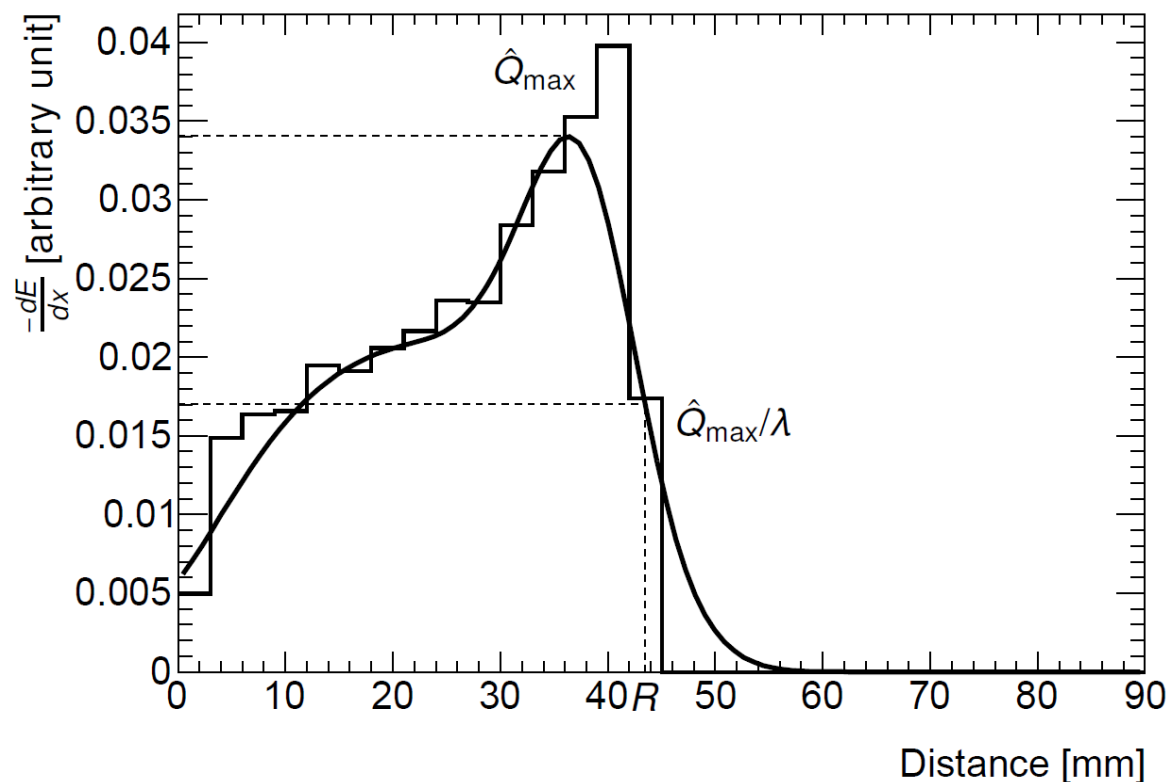
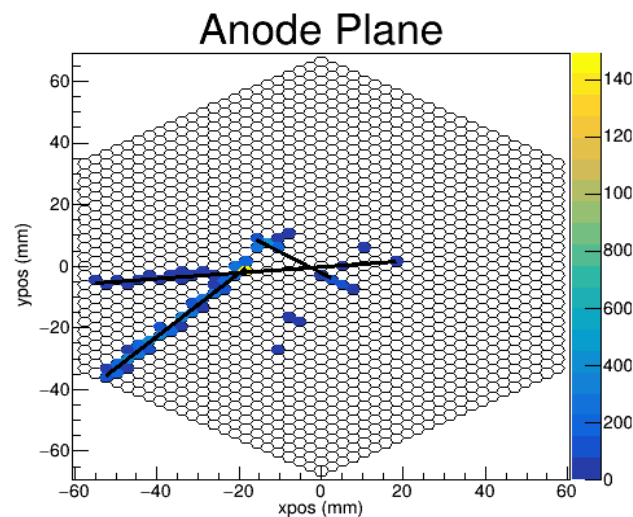
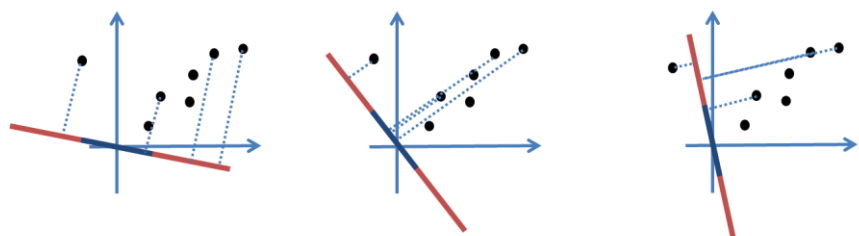


模拟方波算法测试



数据分析方法：径迹重建

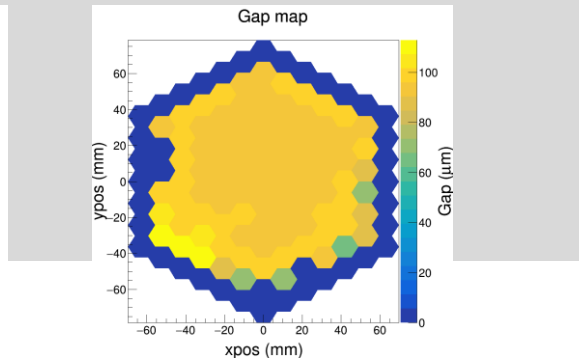
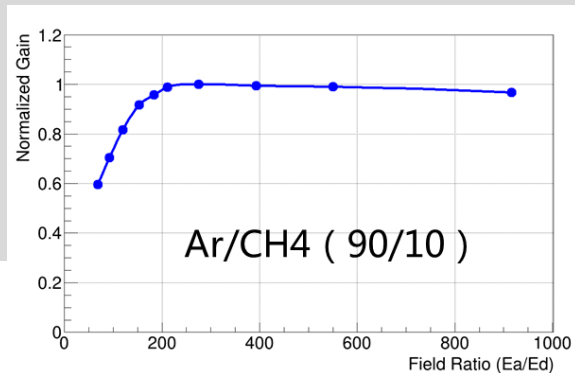
- 径迹查找：
 - 在Hough空间中找到最大值，落在最大值bin内的点认为属于一条直线；
 - 完成径迹查找的同时可大致定出径迹的方向；
- 径迹长度：
 - 将重建之后的数据径迹的点向径迹方向投影，得到沿径迹方向的dE/dx分布
 - 使用KDE算法对dE/dx分布进行平滑
 - 取经迹起点至 $Q_{\max}/\lambda$ 对应点位粒子射程， $\lambda=2$



探测器测试方法

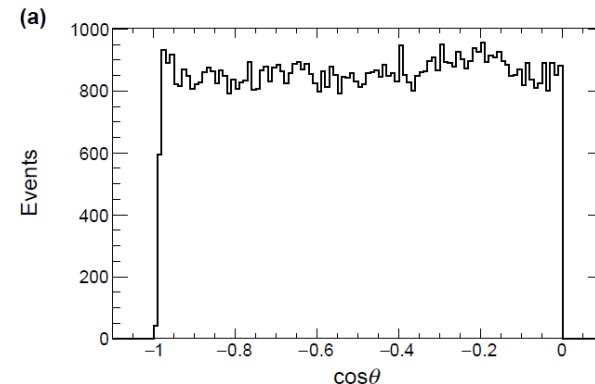
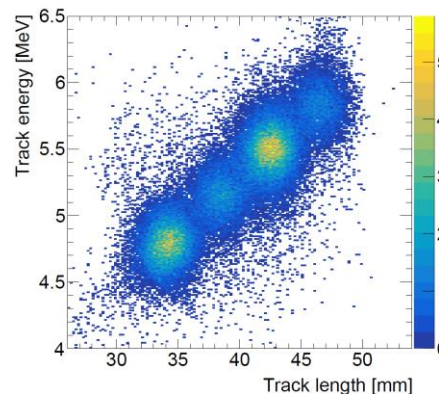
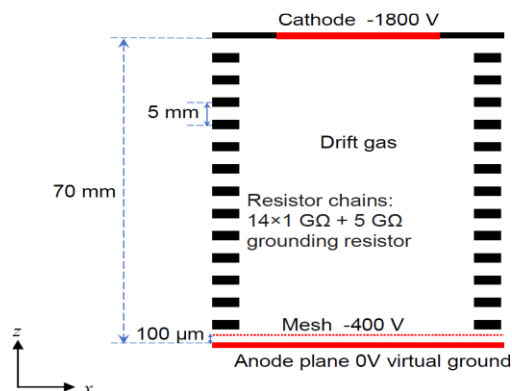
- x射线源测试:

- 透过率曲线
- 增益曲线
- gap均匀性



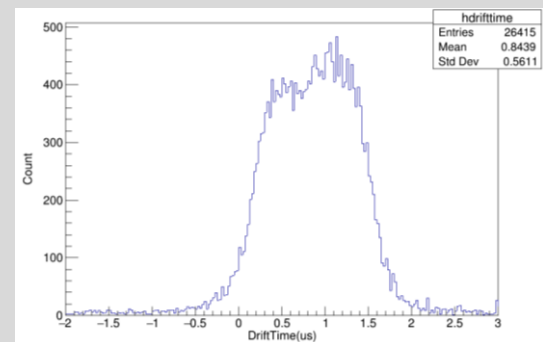
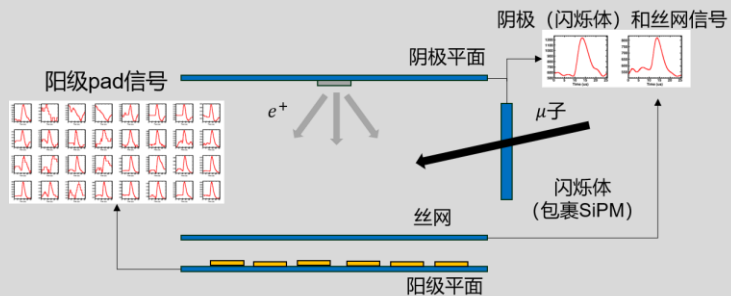
- α 源测试:

- 能量射程分辨
- 漂移速度
- 角分布



- 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
- 模拟分析程序
- 实验方法体系
- 物理实验体系
 - 中子核反应标准截面
 - 核物理前沿相关重要截面
 - 国家重大需求相关截面
 - 已开展实验

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
- 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

核物理前沿相关重要截面

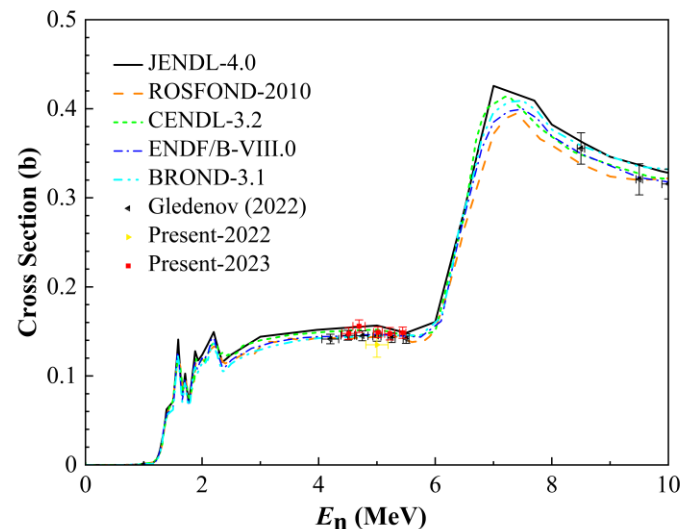
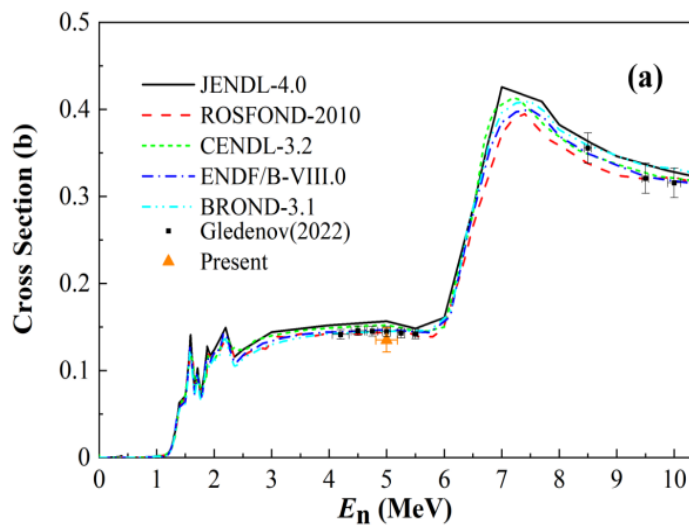
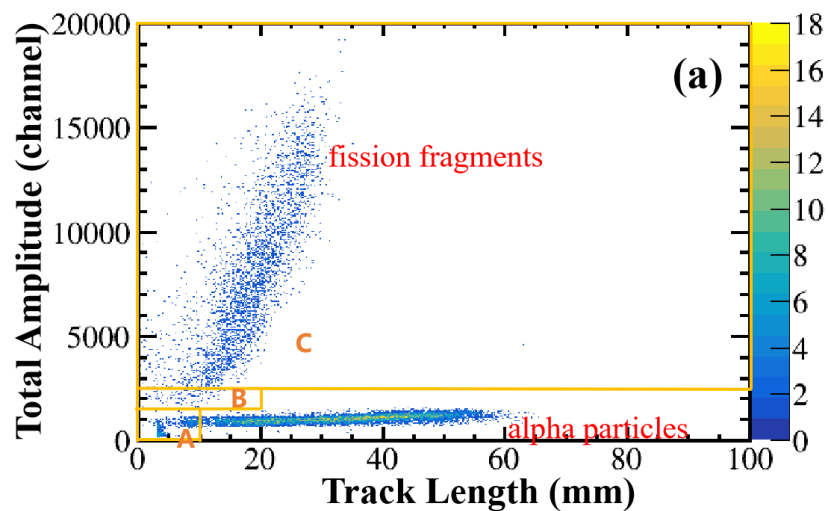
- 开展核物理或核天体物理相关的重要核反应测量
- 体现MTPC的技术优势
- 对解决本领域前沿热点问题有重要意义

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

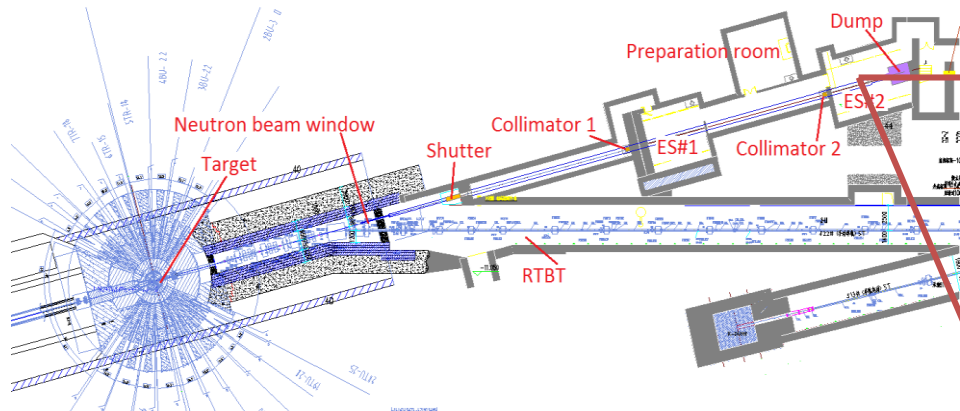
反应	研究意义及研究情况	技术难度
$^{232}\text{Th}(n, f)$	单能点实验@PKU	★★★
$^4\text{He}(n, d)^3\text{H}$	氦氦聚变逆反应	★★★★★
$^{235}\text{U}/^{239}\text{Pu}(n, f)$	高精度裂变数据(<1%)	★★★★★

已开展实验：基于MTPC的 $^{232}\text{Th}(n,f)$ 实验@PKU

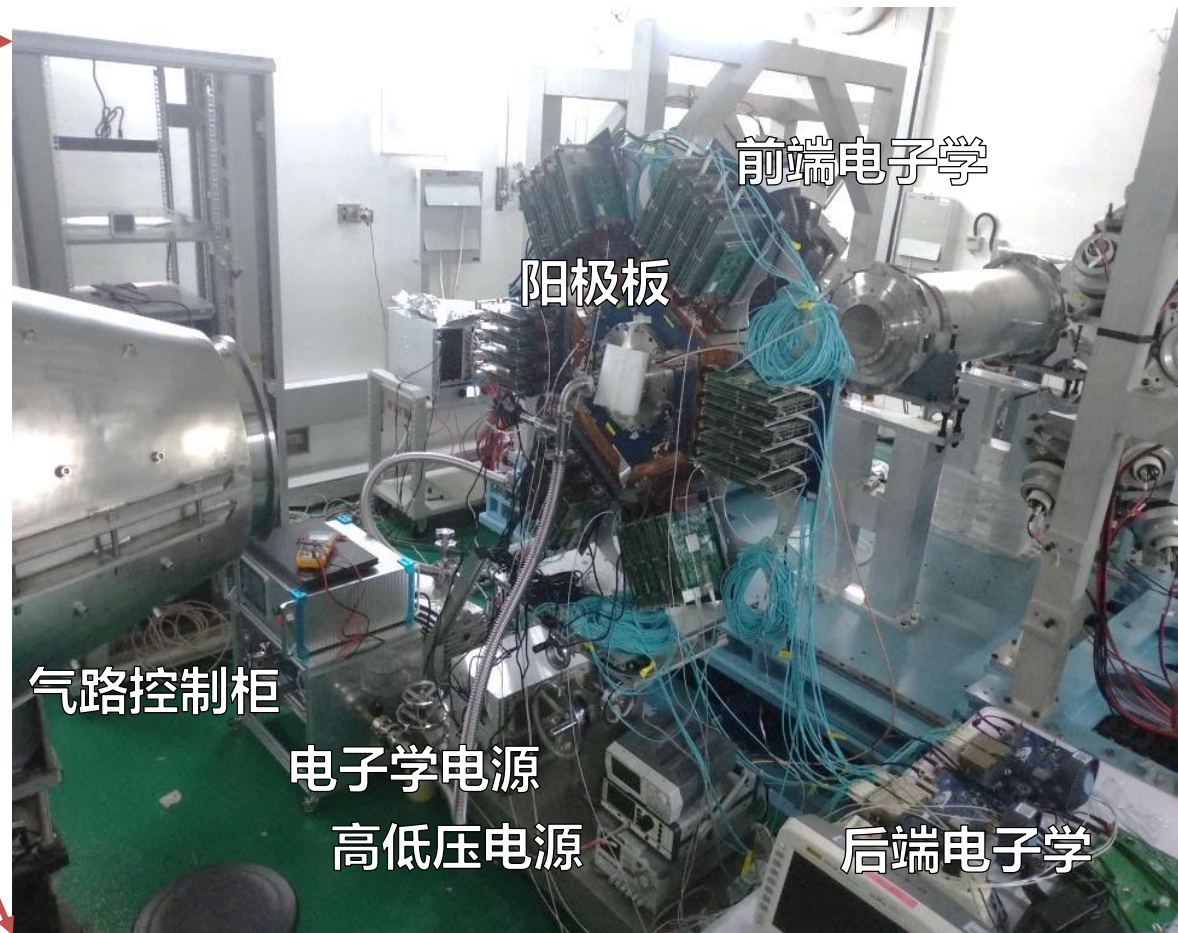
- 实验负责人：白浩帆
- 单能点实验（2022年）
- 多能点实验（2023年）
- 综合分析了裂变截面测量的误差来源，有望获得高精度裂变截面实验数据
- 单能点实验结果已投稿NIMA（返修中）
- 该实验为白浩帆博士论文工作一部分，详见其报告



已开展实验：基于MTPC的 ${}^6\text{Li}(n,t)$ 实验

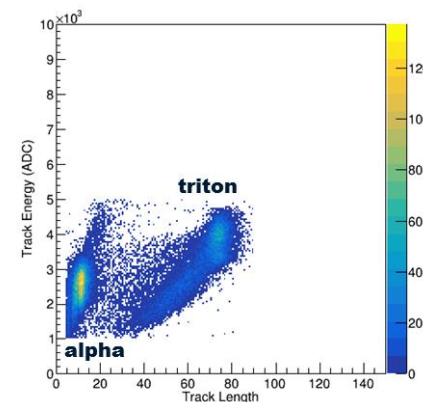
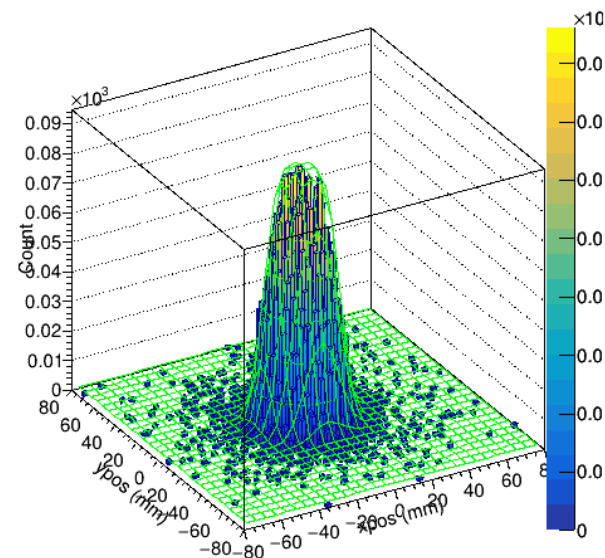
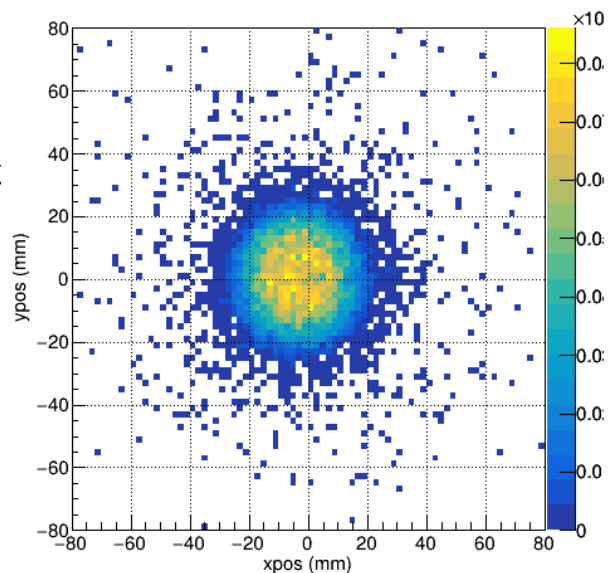


- 实验负责人：易晗（2023年）
- TPC位于厅二，阳极板距离散裂靶中心77m
- 主要测量目标反应 ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 、束斑测量
- 束斑：1mmGd-6cmPb- $\phi 12$ - $\phi 15$ - $\phi 40$ 组合（加铅砖 $\phi 30$ ）
 - 0.9bar气压：针对氚粒子进行测量（133h）
 - 0.5bar气压：针对 α 粒子进行测量（143h）



基于MTPC的 $^6\text{Li}(n,t)$ 实验

- 选择triton事例分析束斑
- 通过二维函数拟合束斑中心和半径
- Erf : 误差函数
- r_0 : 幅度50%处半径
- σ : 边缘分布方差



$$f(x, y) = B + \frac{A}{2} \left[Erf \left(\frac{r(x, y) - r_0}{\sqrt{2}\sigma} \right) - Erf \left(\frac{r(x, y) + r_0}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right], r(x, y) = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

- 拟合结果:
 - 中心(x_0, y_0): (-3.1mm, 0.6mm)
 - r_0 : 17.7 ± 0.1 mm
 - σ : 6mm
 - 中心位置x方向偏心, 可能因为准直激光线偏心

报告内容

- 轻带电粒子出射实验进展
- MTPC实验研究进展
- 研究计划

研究计划

- 轻带电粒子出射实验目前已有装置：
- LPDA+MTPC+SiC+金刚石
- 实验计划和设想：
- $H(n,el)$, $^{17}O(n,\alpha)$, $^{14}N(n,p)$, $^{12}C(n,n)3\alpha$
- 高精度裂变截面实验测量
- 三体裂变核反应实验测量（详见邬泽鹏报告）
- 轻带电粒子出射反应形式多样，方法灵活，数据分析较复杂
- LPDA装置可进一步升级优化，继续开展实验测量
- 结合各实验装置的特点和优势，对同一核反应开展多方面测量，提高数据的完整性和质量



谢谢！