

Back-n探测器电子学进展汇报

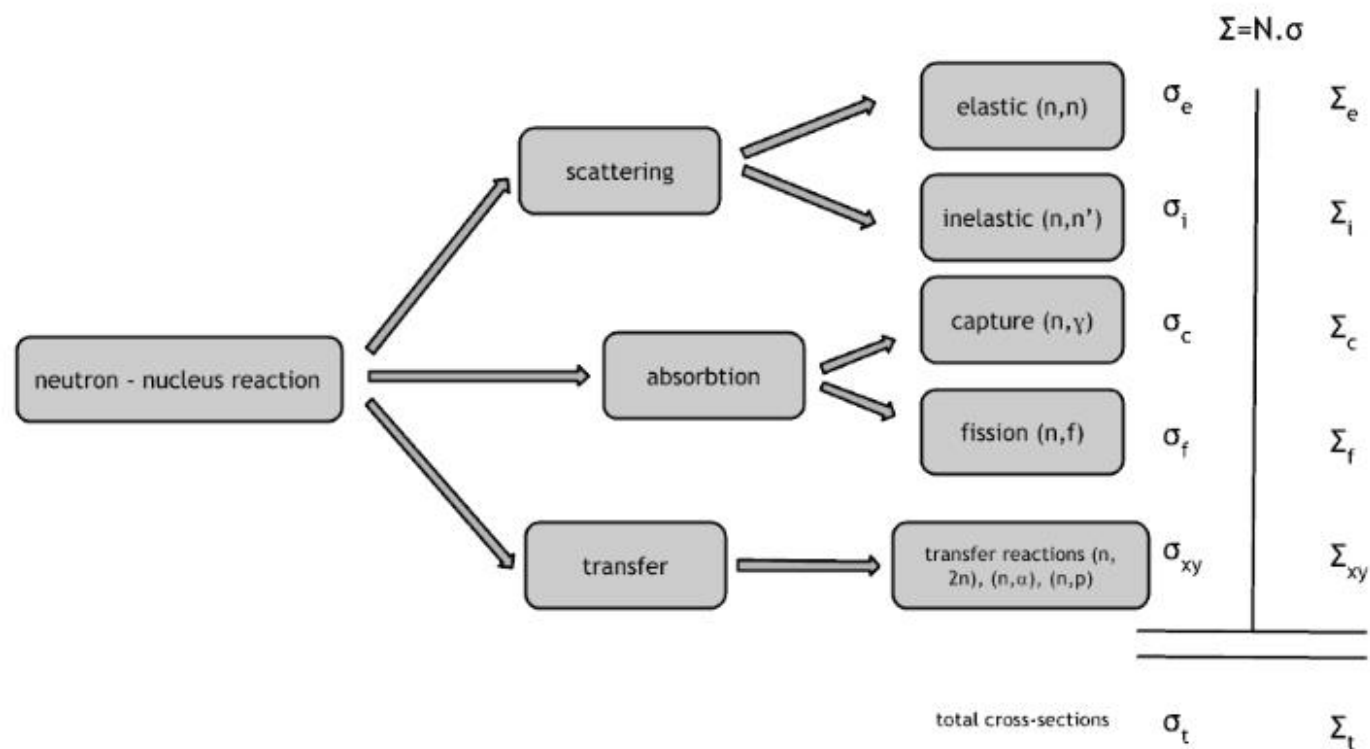
樊睿睿

代表探测器电子学小组

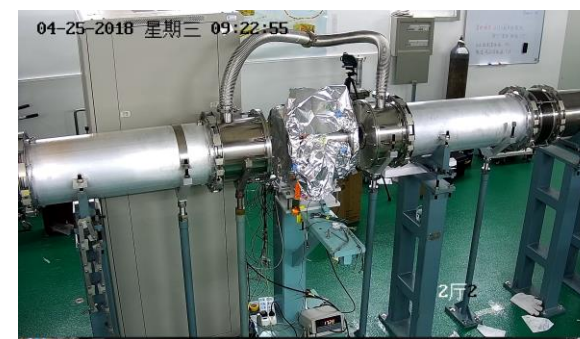
提纲

- Back-n现有的探测器及电子学构架
- 进展中的工作
- 总结与展望

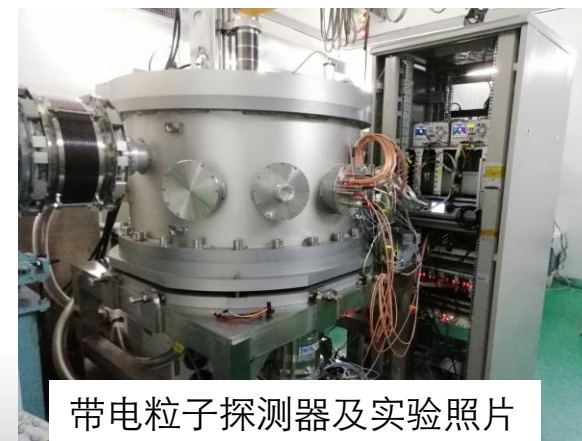
核数据测量实验



C6D6探测器及实验照片



裂变截面、全截面测量探测器及实验照片



带电粒子探测器及实验照片

目前开展的项目包括：俘获截面测量 (n, γ)；裂变截面及全截面测量 (n, f)；带电粒子测量 (n, x)；非弹性散射测量 (n, γ) 等。

目前开展的物理实验及探测器

- (n, gamma) : GTAF-II、C6D6
- (n, f) : 裂变室
- (n, lcp) : LPDA、SiC
- 中子照相: CMOS、Micromegas
- 其他: 多球谱仪、液闪、塑闪

探测器升级方案

- (n, gamma) : GTAF-II、C6D6
- (n, f) : 裂变室
- (n, lcp) : LPDA、SiC
- 中子照相: CMOS、Micromegas
- 其他: 多球谱仪、液闪、塑闪



- 高纯锗阵列 (电子学)
- TPC
- TPC
- nMCP
- 抗辐照半导体 (金刚石、SiC)

进展中的工作

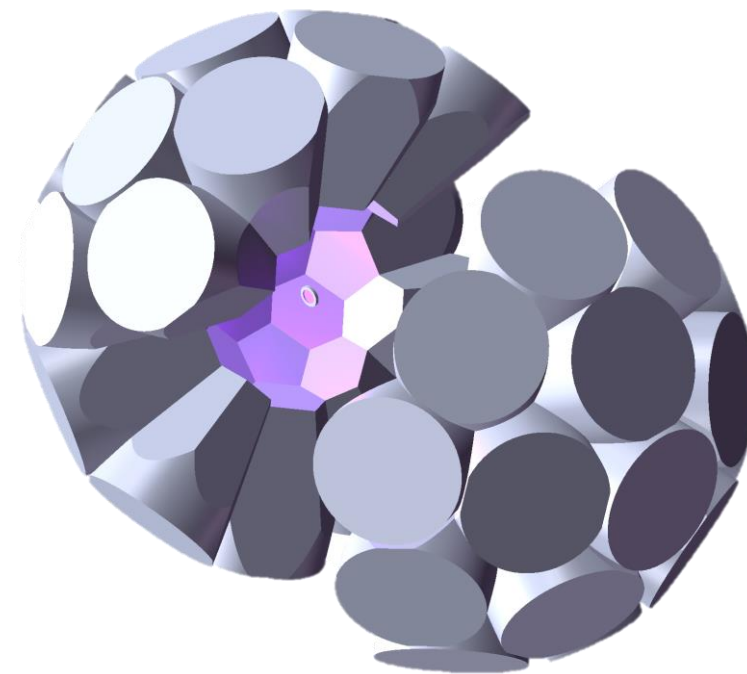
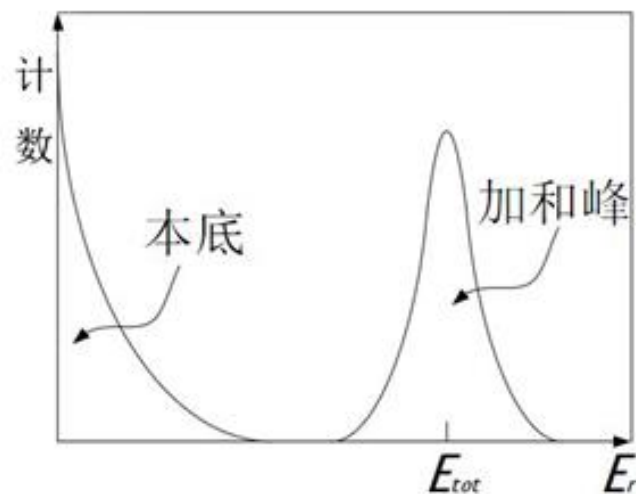
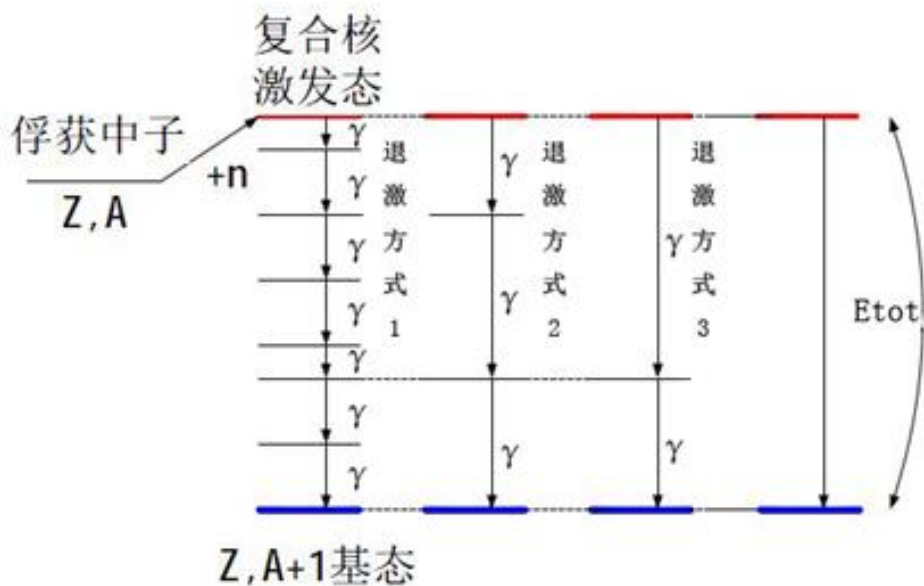
1. GTAF-II的调试和实验进展（栾广源）
2. 共振成像探测器进展（李强）
3. 高纯锗的设计及采购进展（蒋伟）
4. 高纯锗电子学进展（曹平）
5. TPC探测器进展（易晗）
6. 抗辐照半导体进展（蒋伟）

进展中的工作

1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

全吸收型 γ 射线探测系统

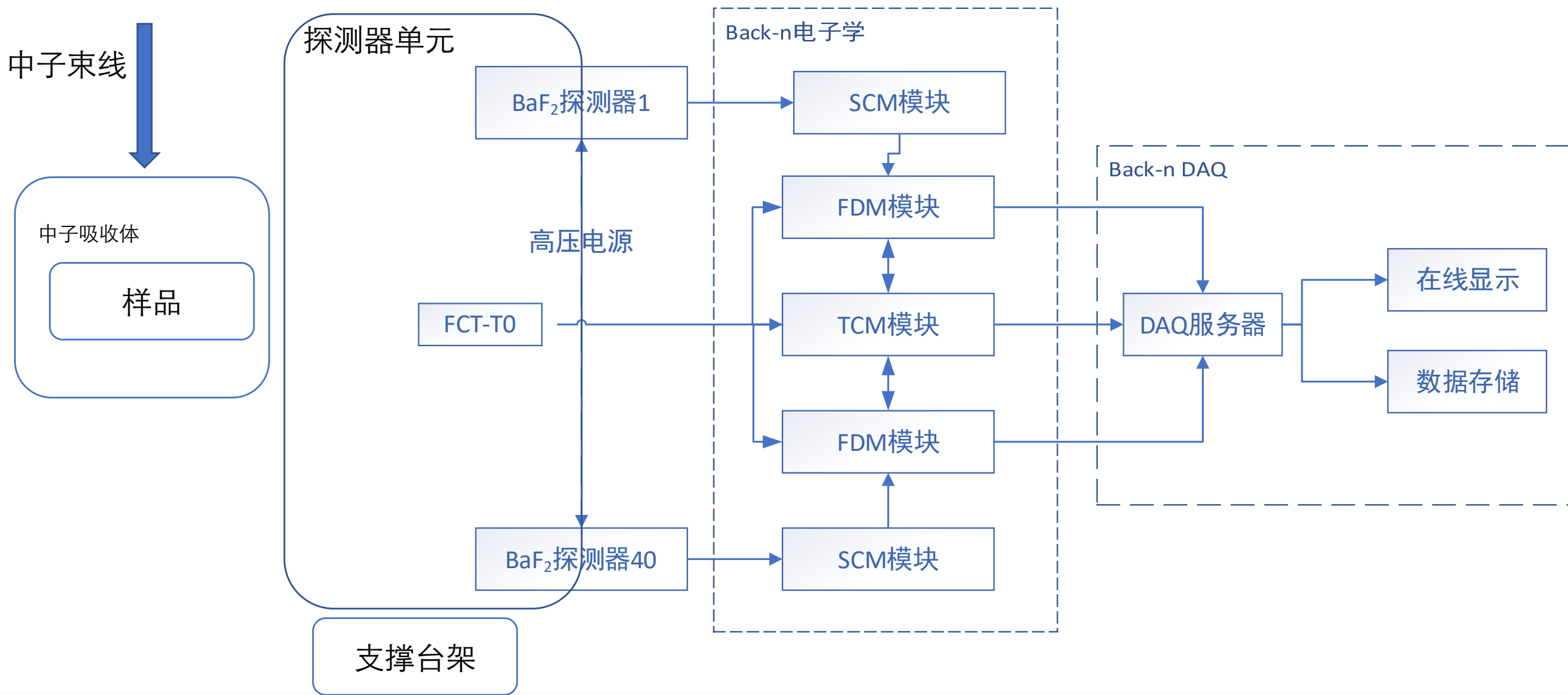
Gamma Total Absorption Facility, 是一种能够接近 4π 全立体角方向伽玛全收集的测量装置。利用瞬发 γ 射线法测量 (n,γ) 反应截面数据。

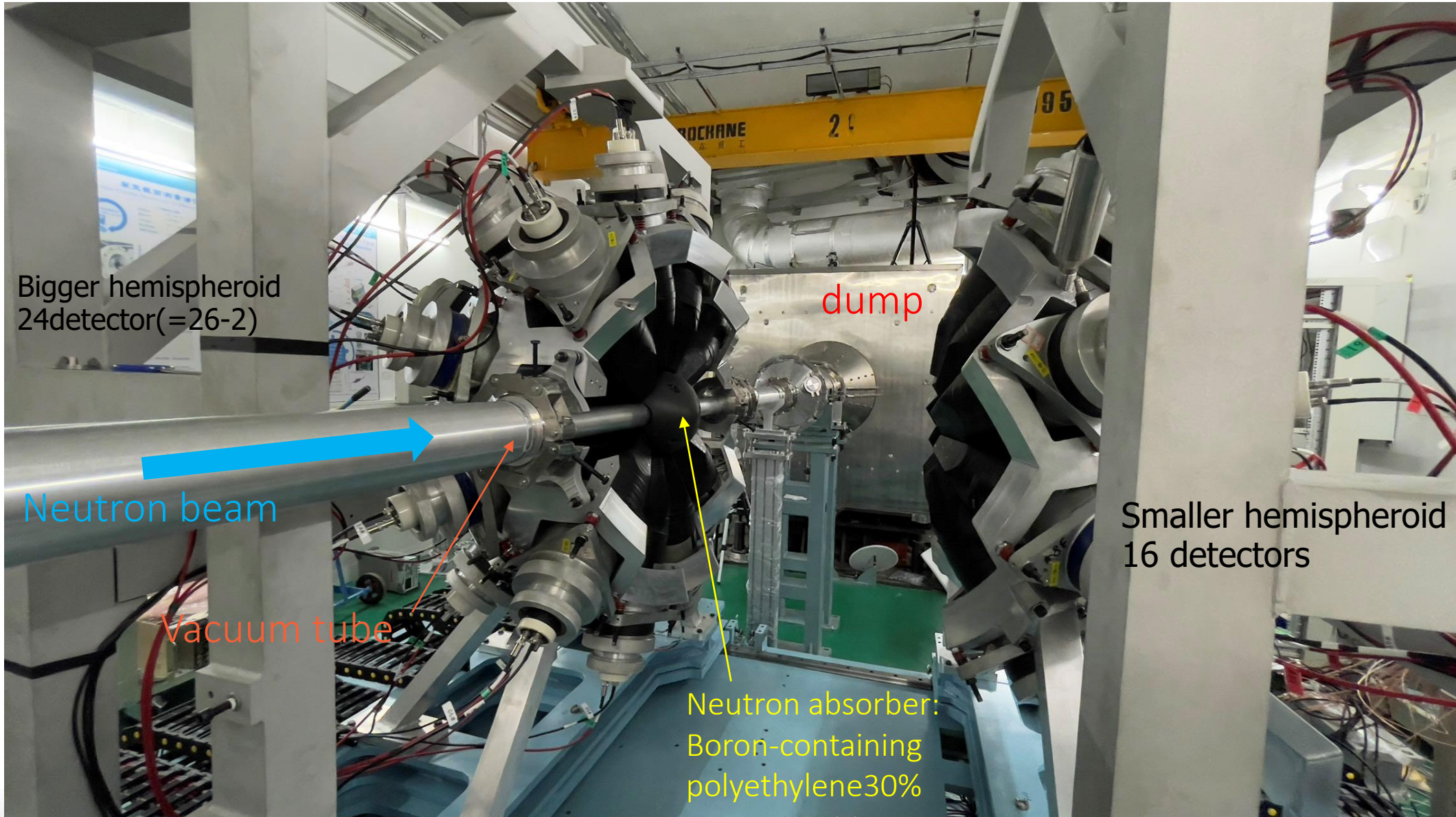


BaF₂晶体探测器：
 较高的能量分辨；
 较好的时间分辨；
 较低的中子灵敏度；
 接近100%的 γ 探测效率。

- 相对于缓发 γ 测量法，瞬发 γ 射线法可以测量终态核半衰期较短的俘获反应；
- 在针对稀有样品、放射性样品及小反应截面样品的测量中具有突出优势。

系统组成





Bigger hemispheroid
24detector(=26-2)

Neutron beam

vacuum tube

dump

Smaller hemispheroid
16 detectors

Neutron absorber:
Boron-containing
polyethylene30%

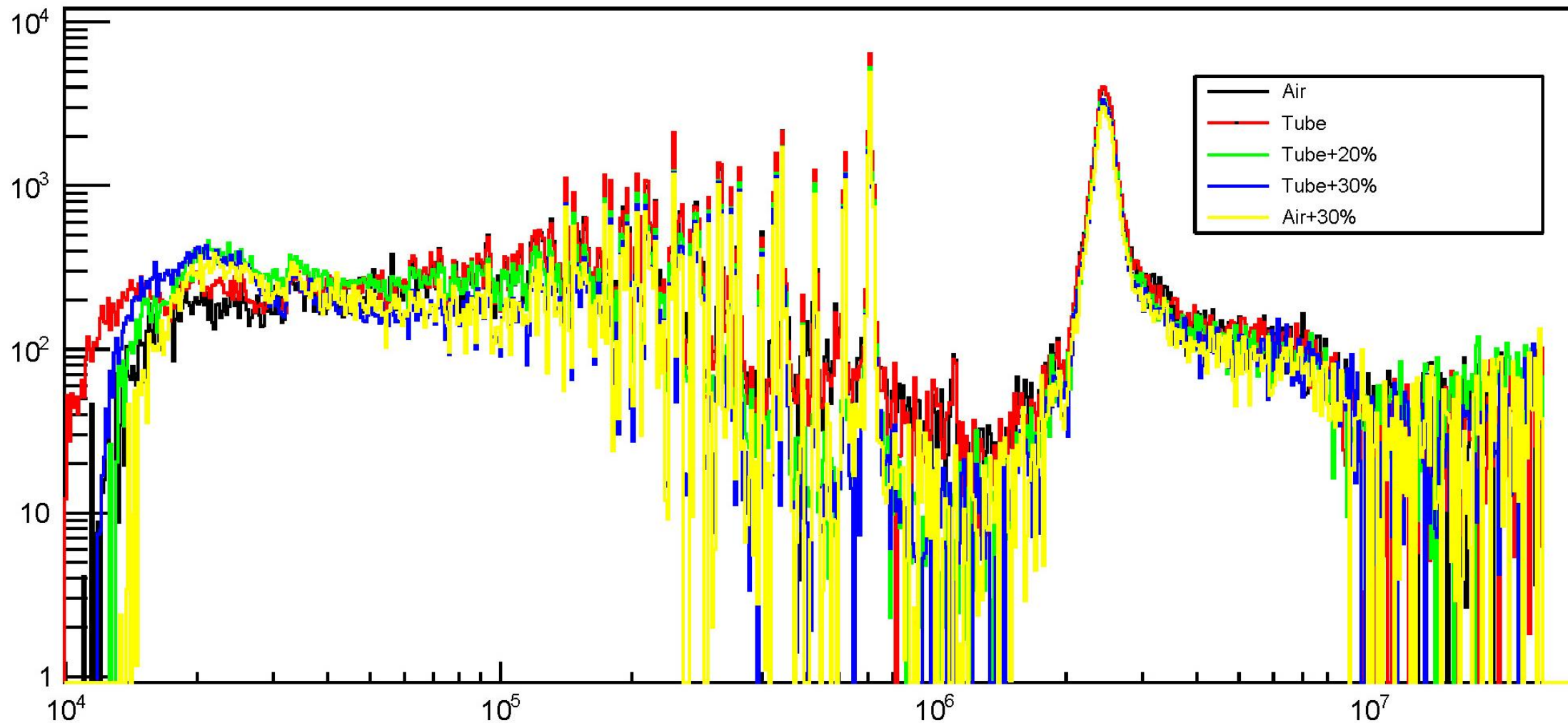
时间线

| | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|------|---------------------------------------|----|-----------------------|----|-----------|-------------|---------|----------------------|-----|-----|---------|
| 2019 | | | | | | 台架就位 | 探测器安装测试 | 内部实验：在束调试 | | | 第一次物理实验 |
| 2020 | | | | | 第二次物理实验 | | | 开始ET-PMT性能研究 | | | |
| 2021 | | | 电子学联调、信号全采集测试、第三次物理实验 | | XIA-DAQ测试 | 高纯锗联合实验 | | 真空管道及中子吸收体对比实验 (XIA) | | | |
| 2022 | 第四次物理实验（管道吸收体）、Sn117截面及角分布测量、U、Th截面测量 | | | | | | 今天 | | | | 铯实验 |
| 2023 | | | | | | PMT更新、探测器维护 | | 第五次物理实验..... | | | |

管道、吸收体的对比



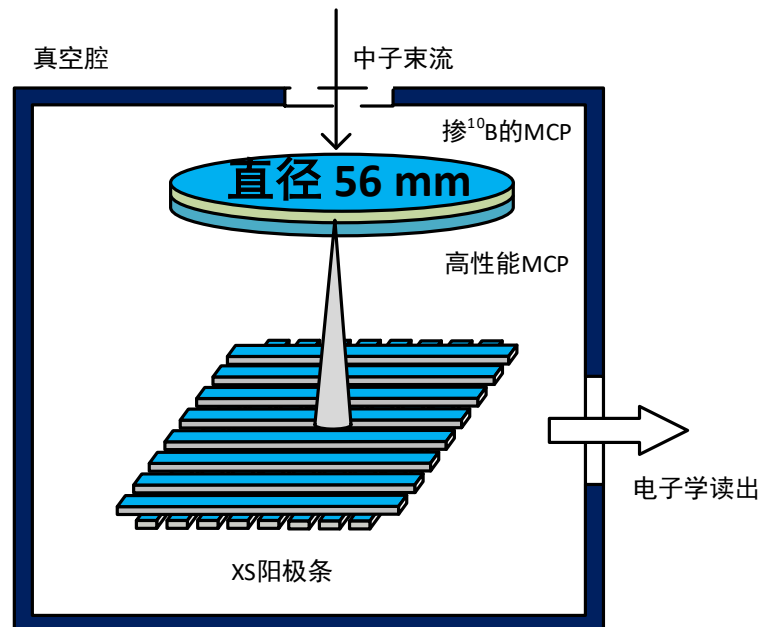
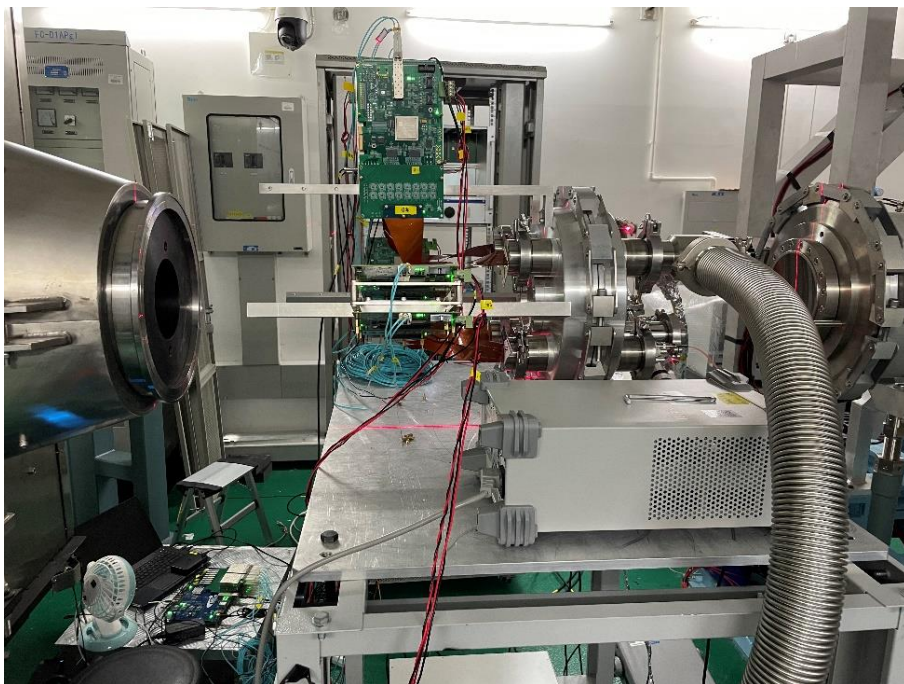
^{197}Au 效应，飞行时间谱，多重性 >1



进展中的工作

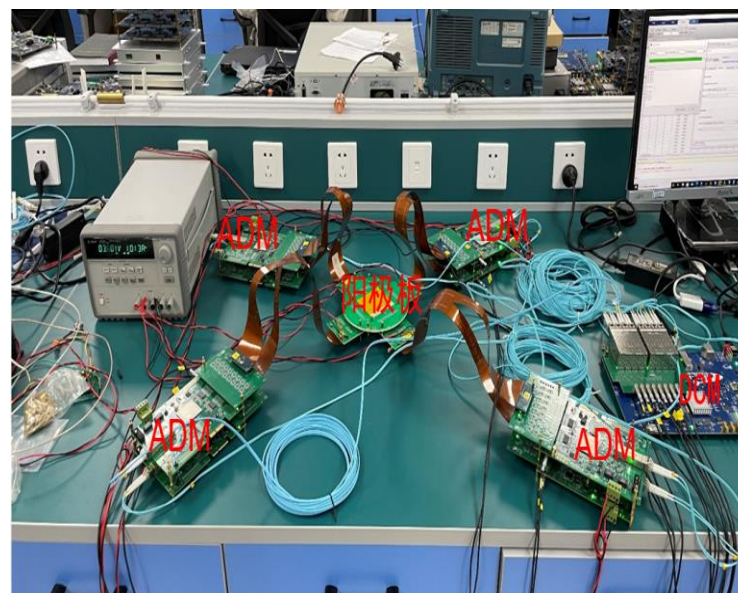
1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

掺硼MCP探测器

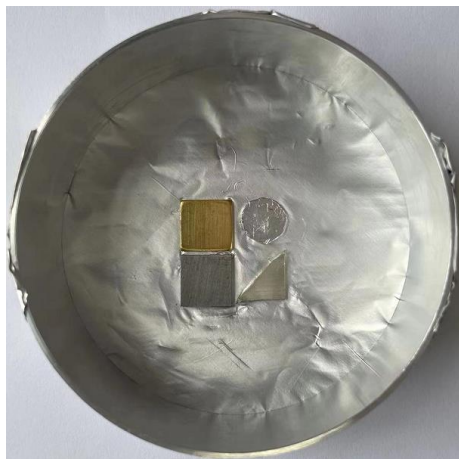


项目受自然科学基金重点项目支持:

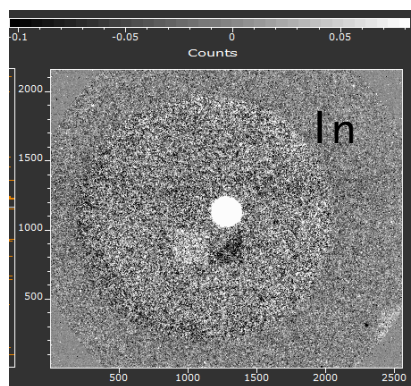
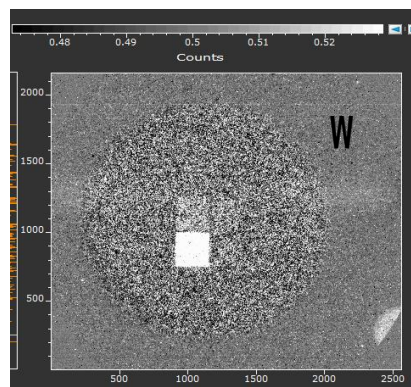
- 高能所总体负责项目实施
- 掺硼MCP探测器由北方夜视制作
- 电子学由科大快电子学实验室制作



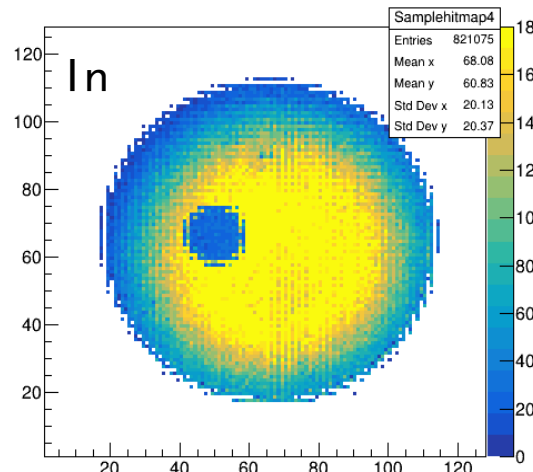
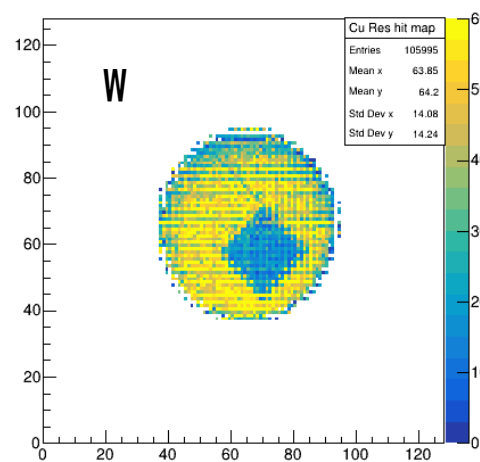
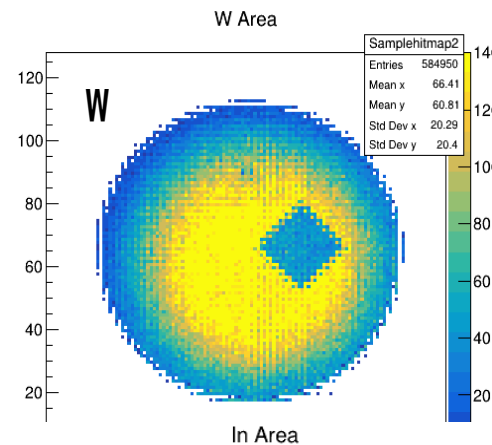
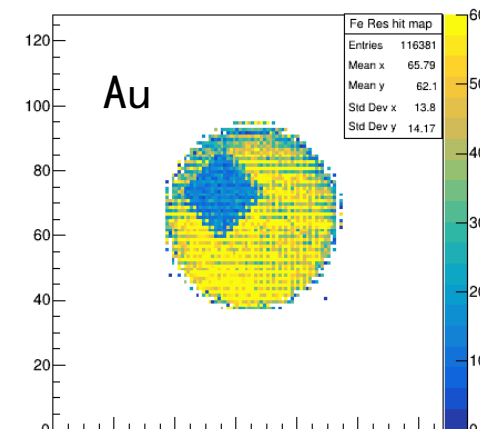
束斑与成像测试：eV共振核素Au、Ag、W等的成像



样品照片

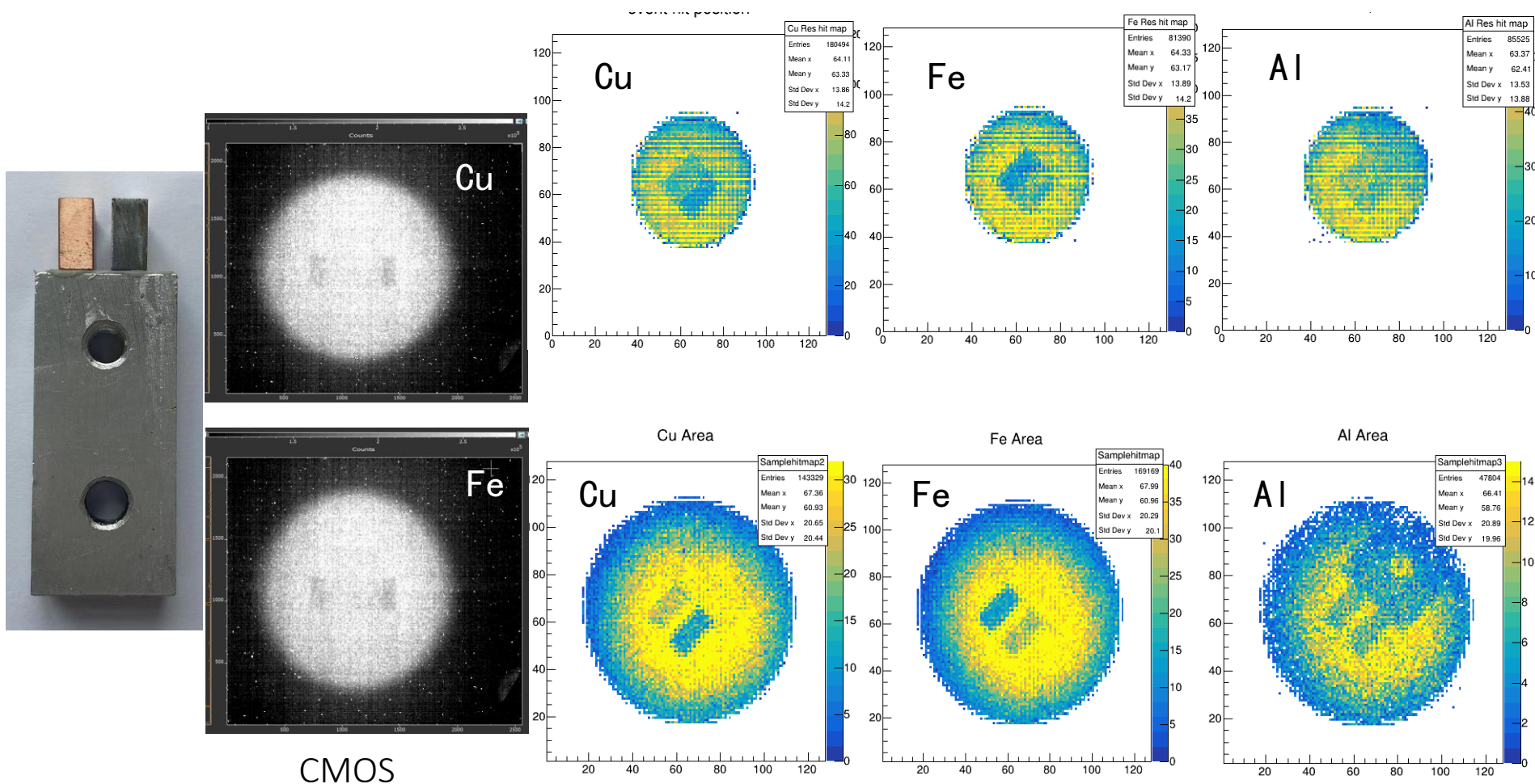


CMOS



作为容易共振成像的重元素都有清晰效果

束斑与成像测试：keV共振核素Cu、Fe、Al等的成像



用MCP初步实现了CMOS难以做到的Cu、Fe、Al共振峰识别成像

进展中的工作

1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

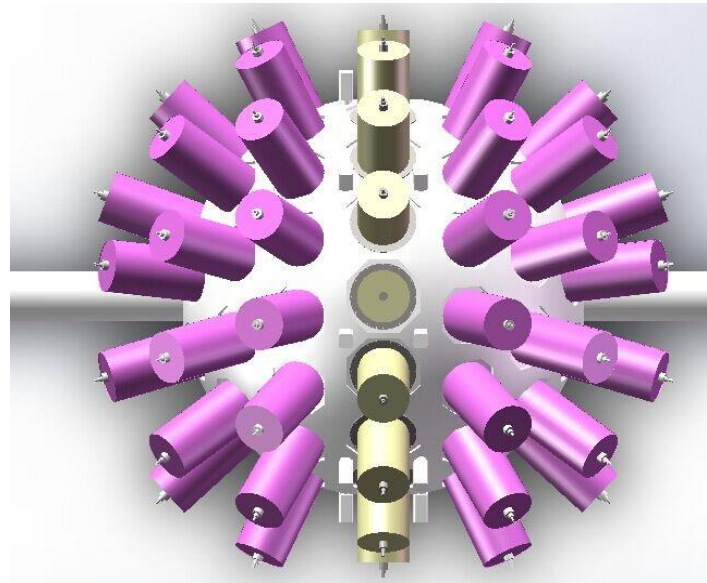
长远方案——GAEA谱仪

• 探测器阵列:

- 90个同轴高纯锗 (反康)
- 10个CLOVER (由4块晶体构成)
- 10个平面锗

• 辅助探测器:

- 20个LaBr₃(Ce)探测器
- 3个Si(Li)探测器



GAEA谱仪结构示意图

GAEA-I

➤ GAEA谱仪的简化版本

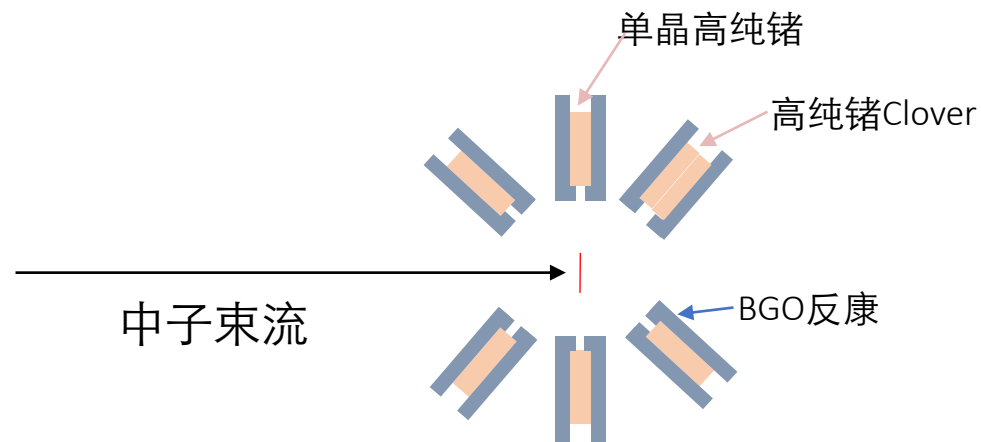
➤ 15-20个高纯锗探测器 (同轴高纯锗+Clover探测器), BGO作为反康探测器, LaBr₃探测器

➤ 兼顾核数据测量、核结构研究、缓发/瞬发伽马出射中子活化分析研究

➤ 考虑出射伽马的角分布, 在20-160° 范围内均匀放置反康高纯锗探测器, 在特定角度放置Clover探测器

在Back-n上开展T-PGAA的初步方案

- 考虑在Back-n布置高纯锗探测器开展T-PGAA研究，最终方案考虑Clover-Ge+同轴高纯锗方案，考虑到 γ 出射角度与 γ 跃迁的性质相关，优先放置于 $\theta = 55^\circ$ 处。
- 考虑加铅砖进行中子及散射伽马屏蔽。同时该套系统可以用于伽马谱学开展核数据测量、核结构实验研究。
- 初步方案：采购2套反康高纯锗探测器，放置于 55° 进行探测瞬发伽马。并且也可以离线使用，测量中子活化之后的缓发伽马。



开展T-PGAA研究的探测器方案（初步设计图）

探测器采购进展

➤ 高纯锗探测器采购情况

已经于5月份完成采购手续，代理商已订货，预计8个月货期，于2023年初到货，参数如下：

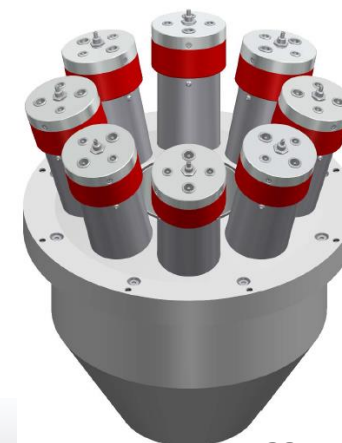
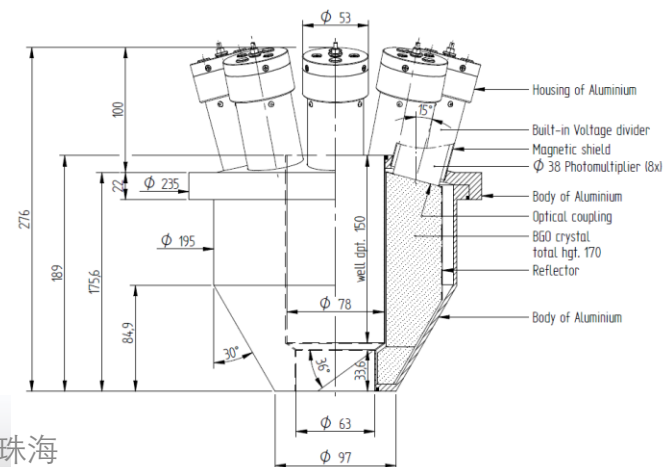
- 1、N型ORTEC同轴高纯锗；
- 2、相对探测效率：40% (1332 keV伽马)；
- 3、冷却方式为纯电制冷器，无需使用液氮；
- 4、能量分辨率：FWHM \leq 2.1 keV (1332 keV伽马)；
- 5、使用晶体管复位型电荷灵敏前置放大器(超高计数率前置放大器)；
- 6、能量响应：下限 \leq 30 keV，上限 \geq 10 MeV；
- 7、配合BGO反康，4英寸冷指延长棒；
- 8、端窗直径：76mm；铝窗；



➤ 反康探测器

已经确定设计方案，开始采购流程

- 1、BGO晶体，44.5mm厚度
- 2、光电倍增管读出
- 3、能量分辨率：< 20 % FWHM @ 662 keV. 噪声:< 15 keV.
- 4、Scionix公司生产



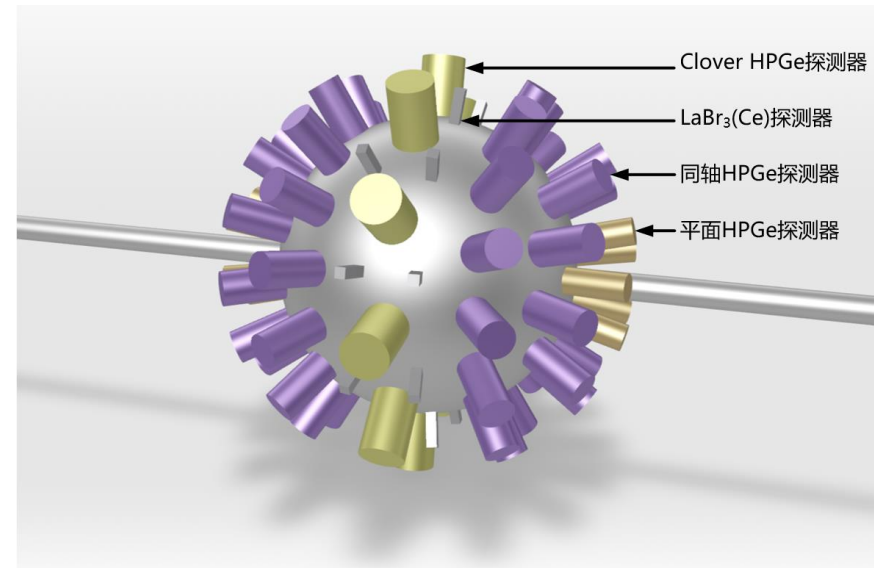
进展中的工作

1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

GAEA谱仪结构及读出需求

谱仪结构：5种、共180路信号

- 50个同轴HPGe探测器
- 10个Clover HPGe探测器
- 10个平面HPGe探测器
- 20个LaBr₃(Ce)探测器



GAEA谱仪

谱仪读出需求：高能量分辨、高时间分辨

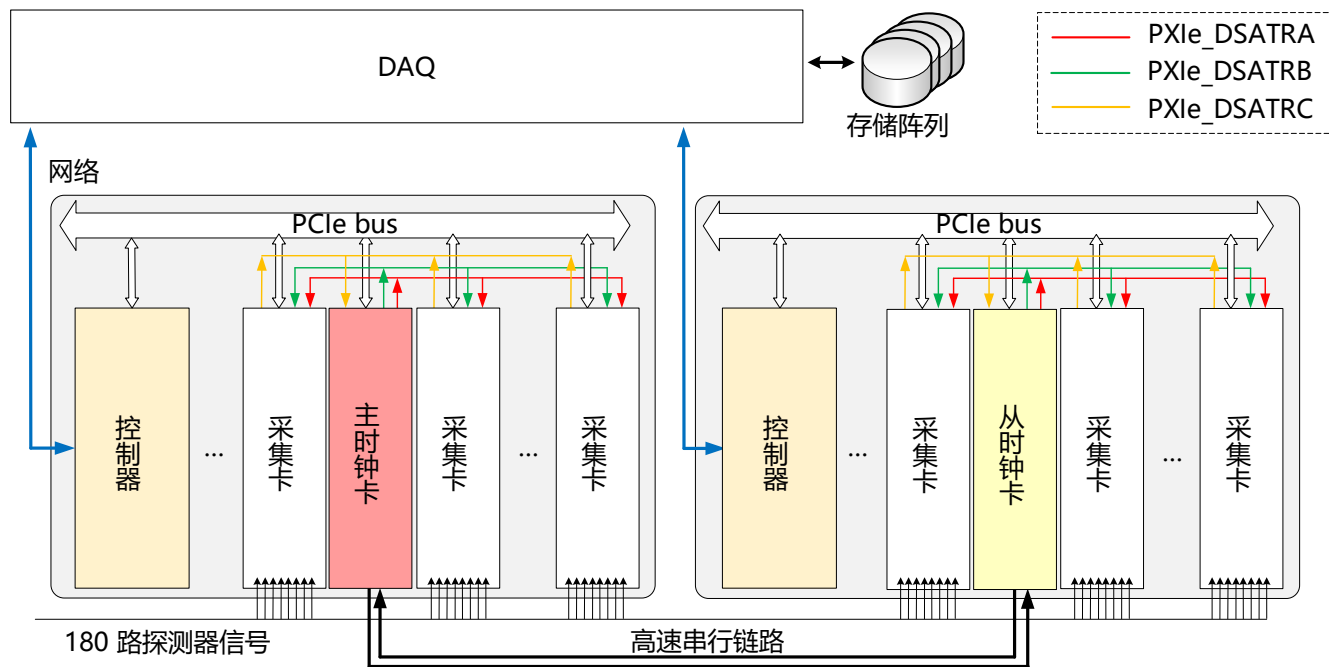
- HPGe探测器能量分辨率优于**1.9 keV@1274.5 keV(FWHM)**
- LaBr₃(Ce)探测器能量分辨率优于**3%@1332.5 keV(FWHM)**
- HPGe探测器时间分辨优于**10 ns(FWHM)**
- LaBr₃(Ce)探测器时间分辨在**100 ps~300 ps(FWHM)**

中科大快电子学实验室
合肥中科采象科技有限公司

读出电子学方案-PXIe机箱平台

读出方案：波形数字化，实时处理及触发，高速数据传输

- **单机箱支持128通道，多机箱拓展以支持大规模通道**
- **8通道高精度采集卡：125、500MSPS，14bit**
- **精密时钟同步卡：全局时钟同步，全局触发判选**



PXIe读出电子学方案



精密时钟同步卡

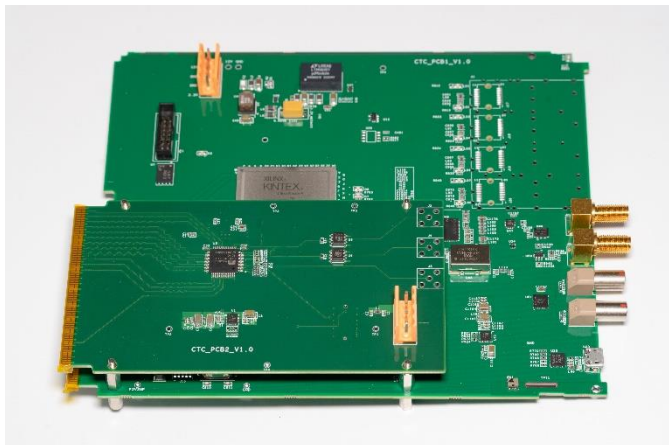


125M、500MSPS@14bit
8通道采集卡

读出电子学方案-mTCA机箱平台

读出方案：波形数字化，实时处理及触发，高速数据传输

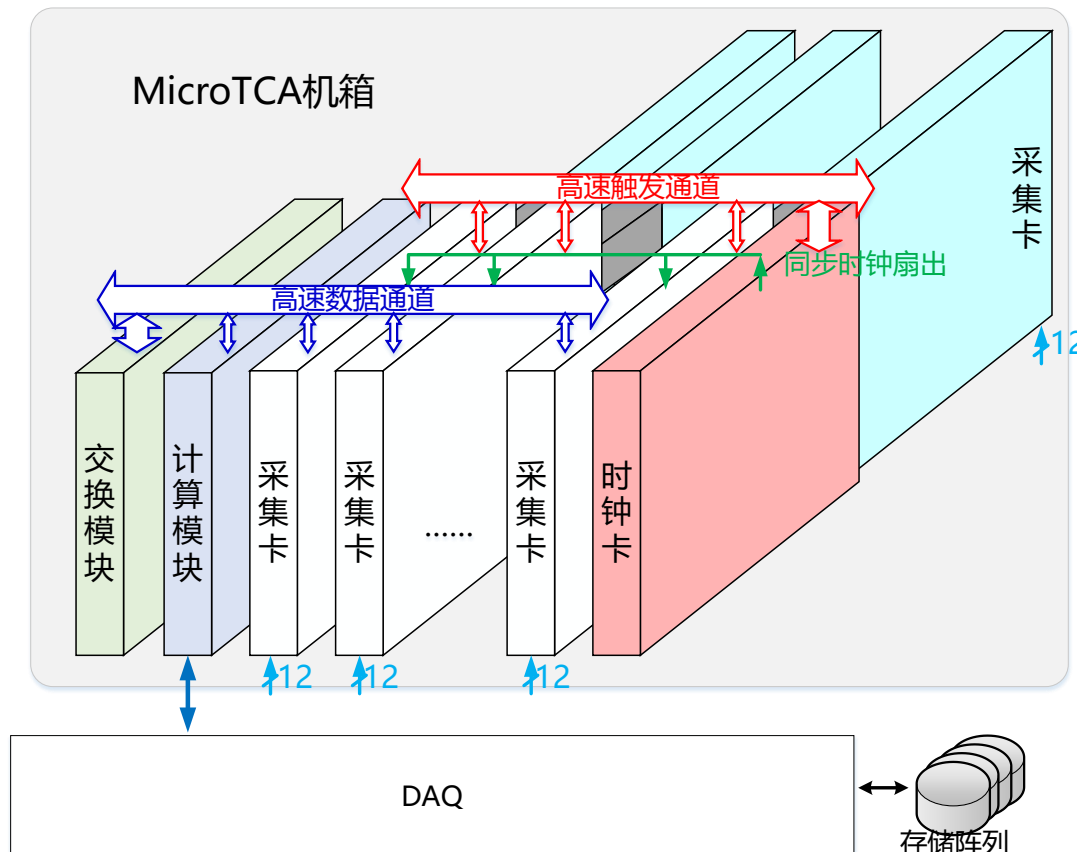
- **单机箱支持240通道，支持多机箱拓展**
- **12通道高精度采集卡：125、500MSPS，14bit**
- **精密时钟同步卡：全局时钟同步，全局触发判选**



精密时钟同步卡



125M、500MSPS@14bit
12通道采集卡

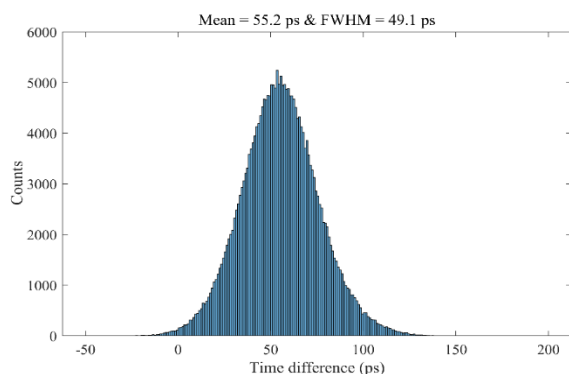


mTCA读出电子学方案

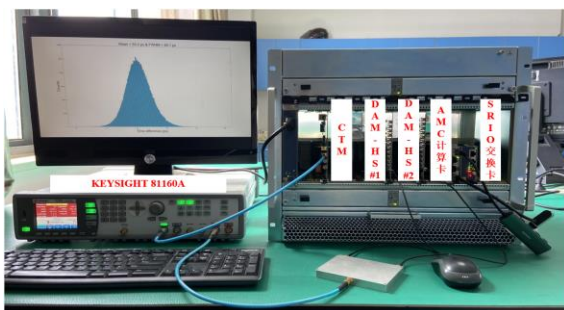
读出电子学性能评估

各项指标均满足需求:

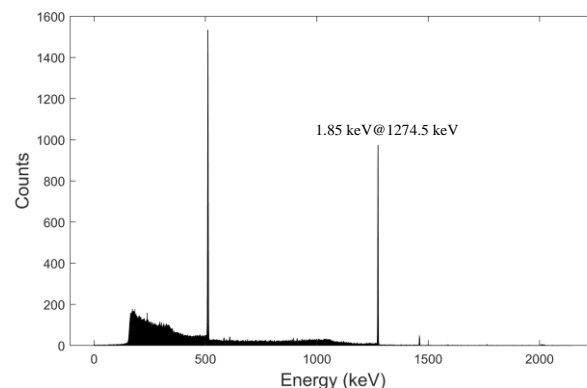
- **HPGe能量分辨率: 1.85keV@1274.5keV (FWHM)**
- **电子学定时精度: 34.7 ps(FWHM)**



两通道定时差统计结果



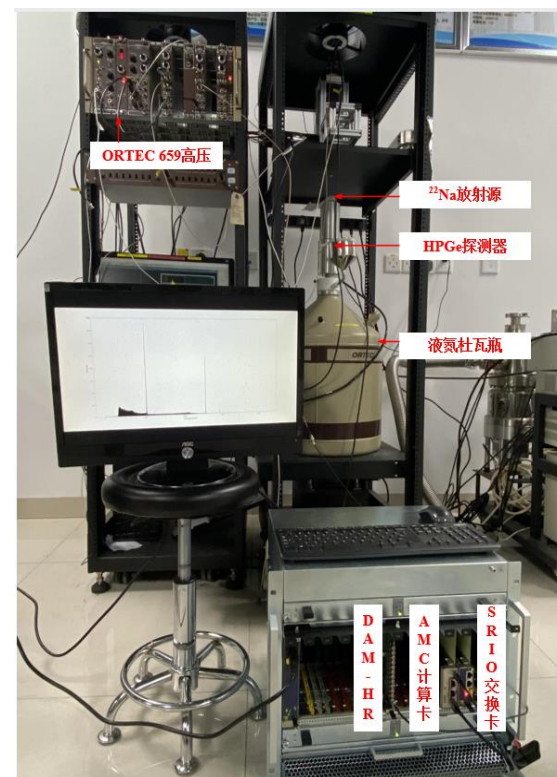
电子学时间分辨率评估现场图



联合HPGe探测器测量²²Na能谱



PXIe平台读出电子学与探测器联调



mTCA平台读出电子学与探测器联调

进展中的工作

1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

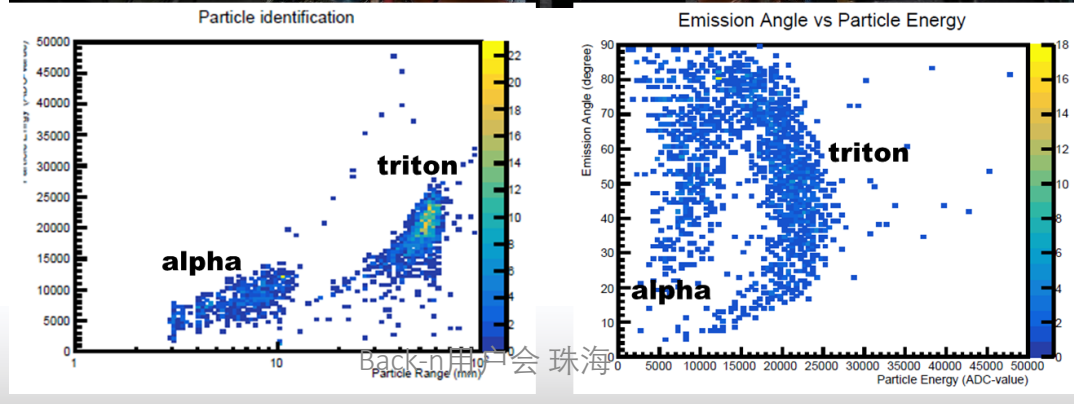
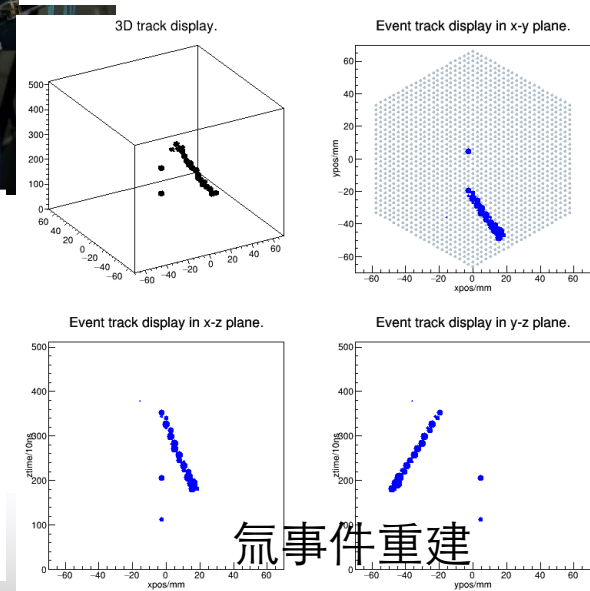
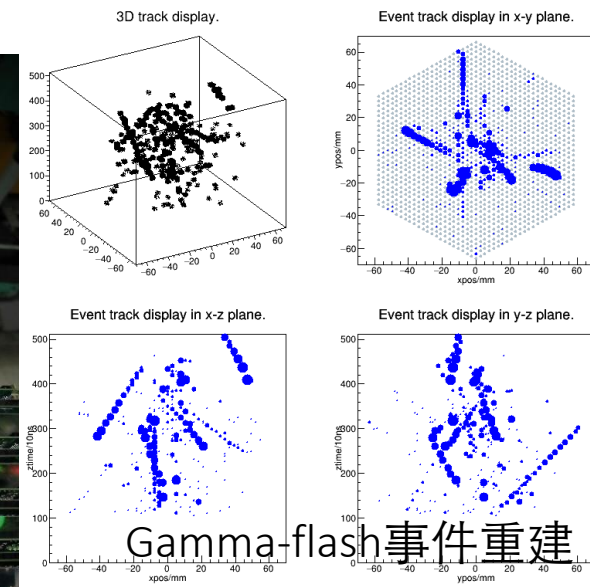
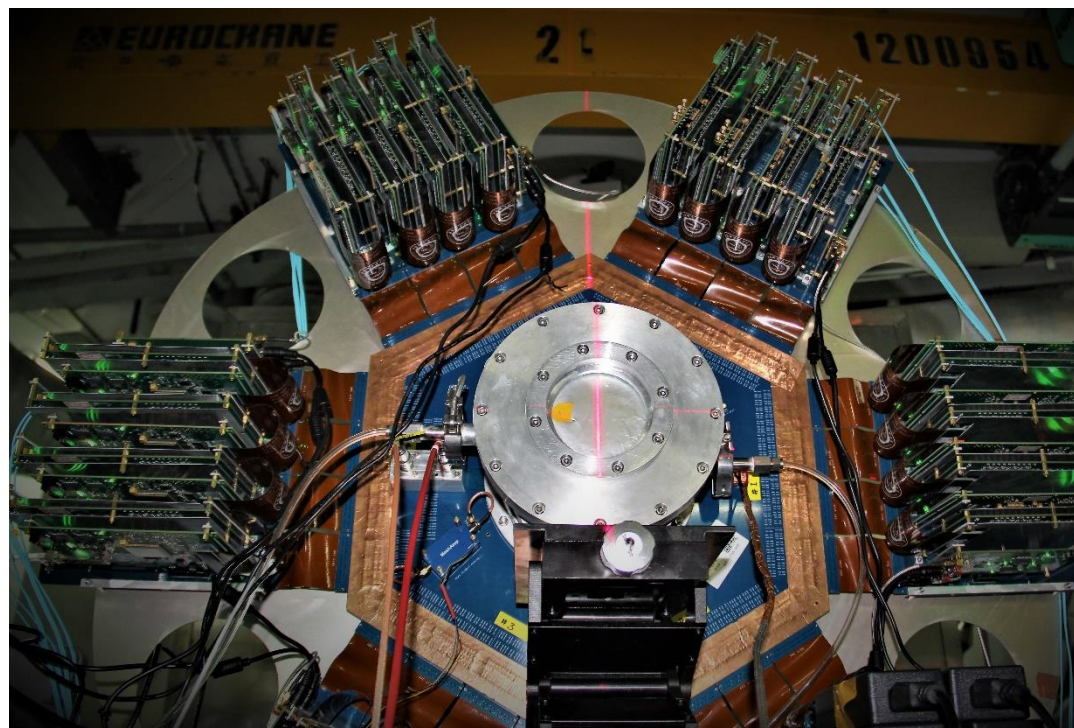
Back-n多用途TPC

安装在Back-n束线的TPC探测器

白光中子多用途TPC (MTPC) 探测器投入巨大, 制作复杂, 数据分析工作繁琐需要多家单位联合进行。合作组包括:

- 东莞研究部 (物理设计、测试、数据分析)
- 中科大 (电子学、Micromegas 工艺)
- 实验中心 (DAQ)
- 北大 (物理设计)
- 中山大学 (数据分析)
- 深圳大学 (数据分析)
- 九院二所.....

2020年1月进行了首次束流实验, 验证了探测器的工作状态和白光中子束线实验的可行性。



白光中子多用途TPC发展历程

2019

探测器：使用屏栅电离室探测器原有构架加入Micromegas结构

电子学：使用PandaX的基于AGET电子学系统

软件：基于ROOT的简单分析程序

2021

电子学：研制了专用的分立器件读出电子学

软件：BLUET框架建立

2022

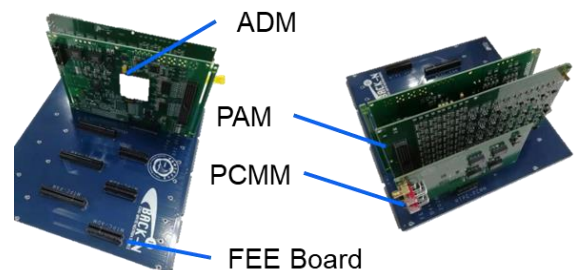
探测器：高低气压系统及探测器优化设计

电子学：基于服务器集群结合在线显示功能的DAQ系统

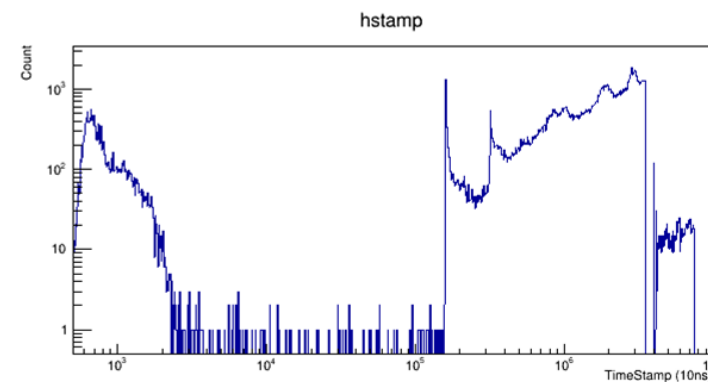
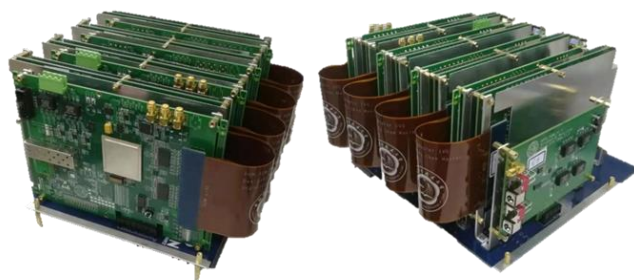
软件：具备基本功能的BLUET框架建立

电子学的改进

- 基于AGET电子学死时间过长 (2.2ms)，基于TOF判断中子能量方法失效，在白光中子束线上无法测量较高能量 (keV以上) 中子
- 新版电子学与中科大联合开发，基于分立器件大幅度提高计数率



Assembled Module

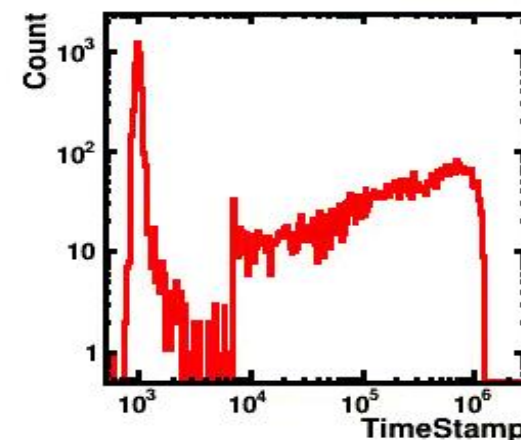


2.2ms → 25us

DCM

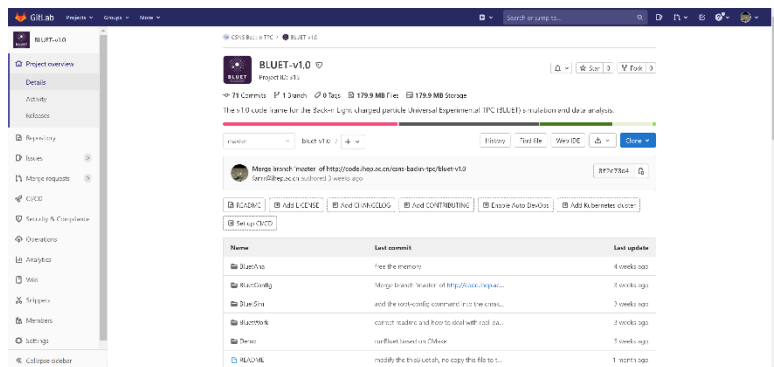


TCM

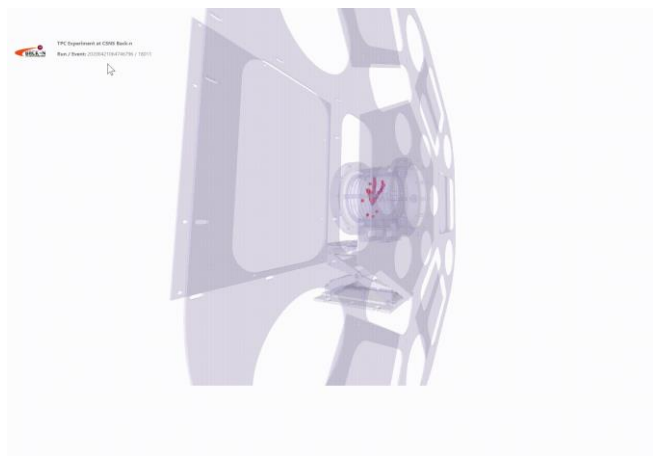


实验数据处理及在线DAQ架设

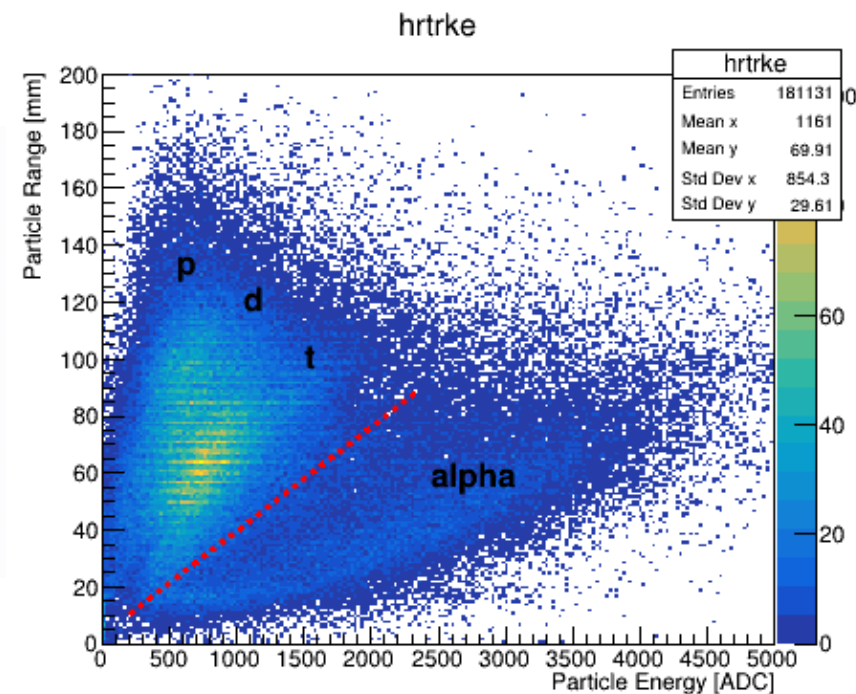
- BLUETv0.0→BLUETv2.0 具备了基本功能可以进行数据分析
- 数据量最高100MB/s，与实验中心DAQ组建立合作共同开发在线DAQ系统



基于所内git托管平台的代码控制



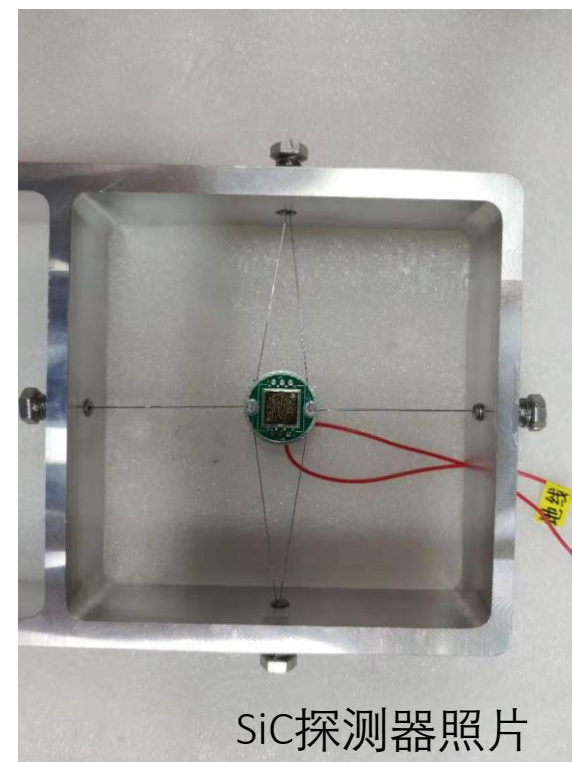
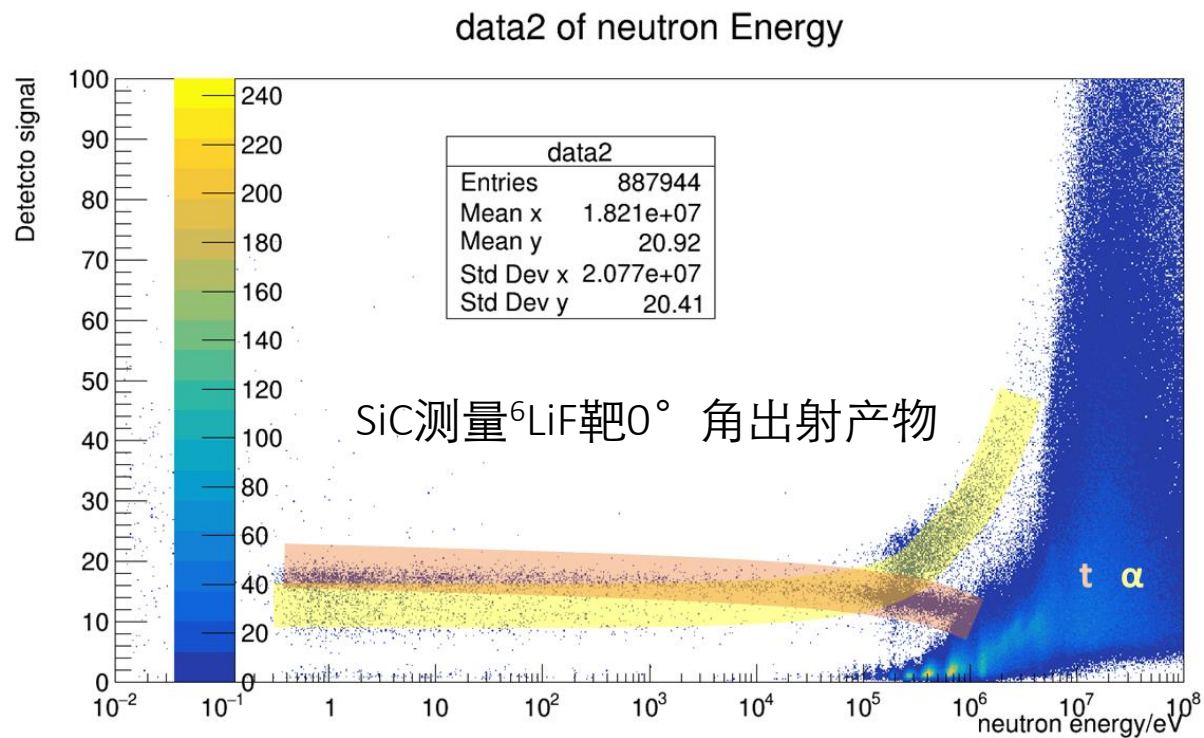
DAQ在线事例显示



进展中的工作

1. GTAF-II的调试和实验进展
2. 共振成像探测器进展
3. 高纯锗的设计及采购进展
4. 高纯锗电子学进展
5. TPC探测器进展
6. 抗辐照半导体进展

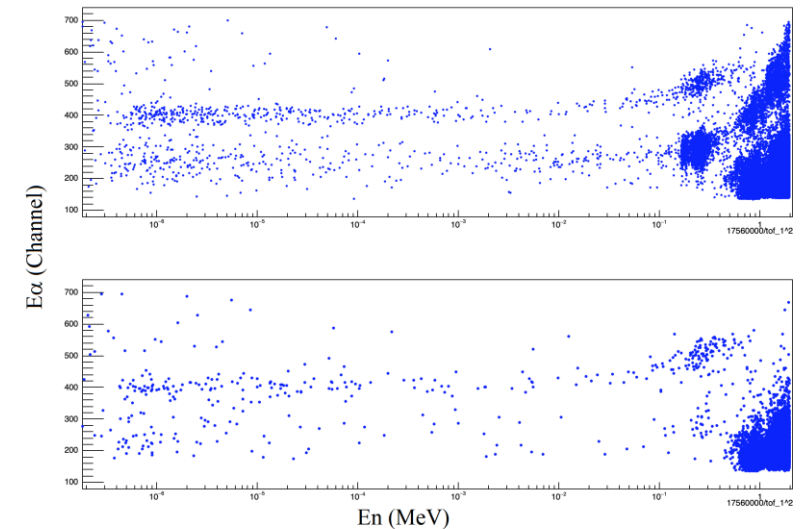
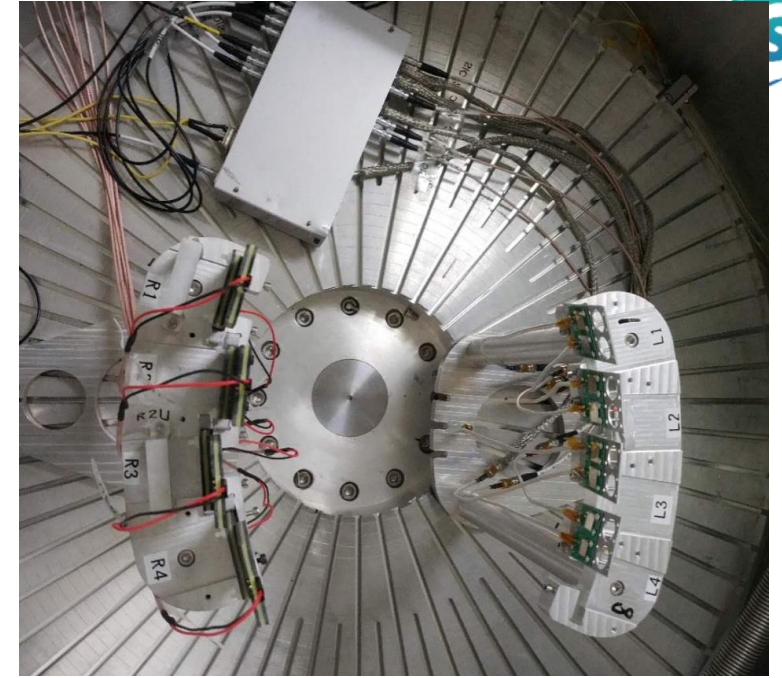
SiC探测器的初次尝试



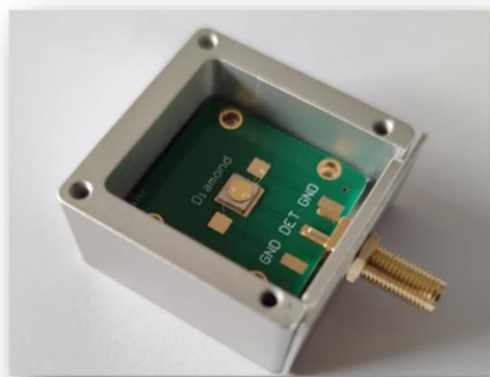
2019年2月与大连理工大学合作，使用SiC探测器在束进行了⁶Li (n, α) 反应产物测量实验，可以看到氚和α曲线。SiC探测器辐照时间约100小时，合计中子注量 10^{10} 以上，未发现明显的性能变化。

SiC探测器的应用

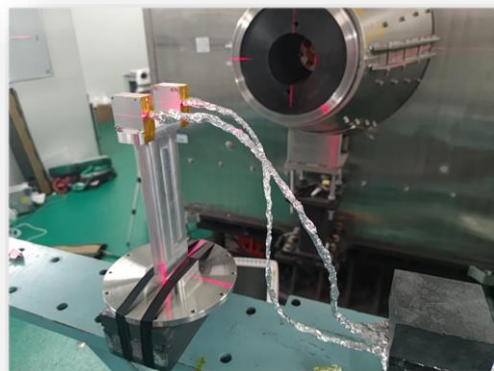
- $^{63}\text{Ni}(n, \alpha)$ 实验, 2019年12月:
- 在白光LPDA谱仪内, 中子束流轰击高富集的 ^{63}Ni 同位素靶 (以及用来刻度的 ^6LiF 靶和做本底的 ^{62}Ni 靶), 靶前后用支架固定4块碳化硅探测器。利用前后角各两块探测器的分别测量前角和后角出射的 α 粒子。
- $^{17}\text{O}(n, \alpha)$ 实验, 2020年6月:
- 靶包括 ^{17}O 靶(W^{17}O_3), 做本底的 ^{16}O 靶, 和 ^6LiF 刻度靶。在前角区安装碳化硅探测器阵列 (8块), 后角区安装硅探测器阵列 (8块)。



金刚石探测器测试结果



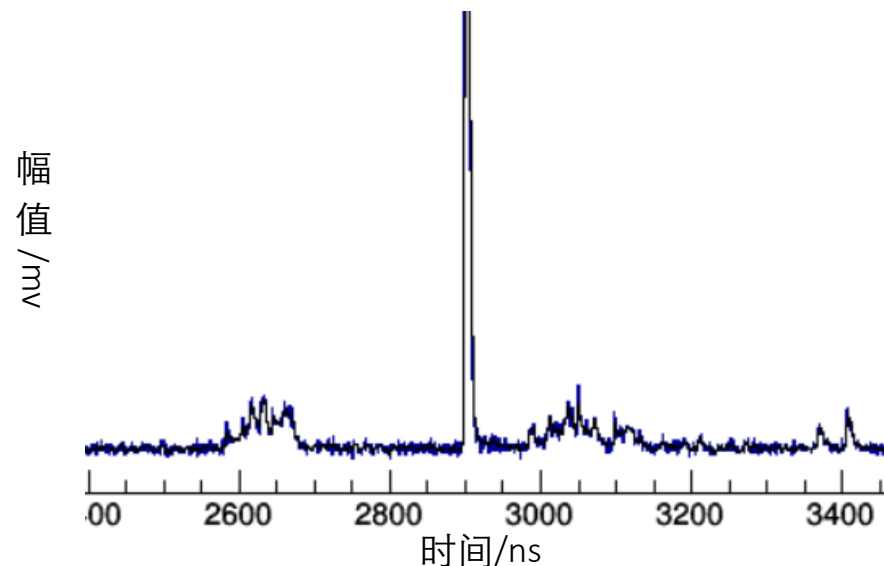
金刚石探测器



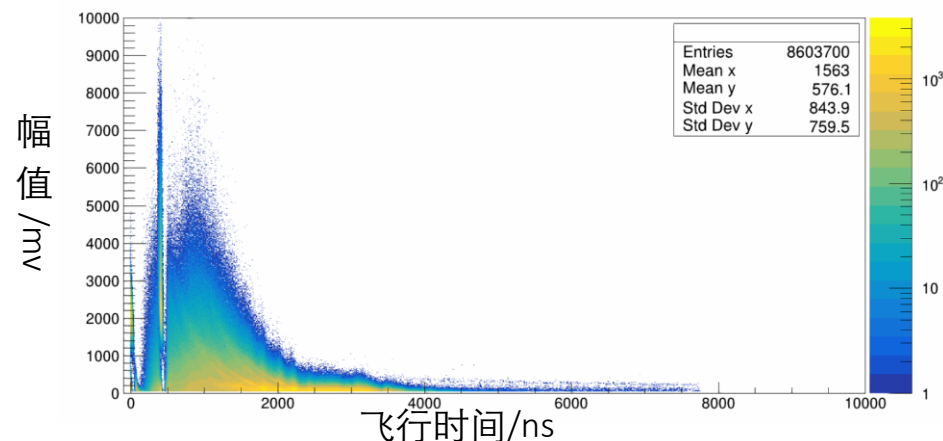
金刚石探测器中子响应测试

与大连理工大学合作对金刚石探测器在白光束线进行了数次测试，分别针对以下一些研究方向：

- 高能中子能谱解谱
- 高能区^{nat}C (n, x) 反应研究
- 在线 (n, lcp) 抗辐照探测器功能测试



金刚石探测器中子响应测试典型波形（局部）
Qcal:tof



金刚石探测器中子响应信号：飞行时间二维谱

感谢大家的聆听！