

2020-2021年度CSNS反角白光中子源 探测器标定/辐照实验/中子计量学 进展情况汇报

2021年8月
白光用户研讨会



西北核技术研究院



提纲

- 一、探测器标定情况
- 二、辐照实验情况
- 三、中子计量项目进展
- 四、结束语

一、探测器标定情况

1.1 探测器标定基本情况

- 2020.11-2021.07共开展探测器标定实验11次。
- 主要是大学和研究院所，共6个单位。
- 其中单束团2次，各48h。

2020-2021实验信息汇总

实验日期	实验名称	实验单位	实验负责人
2020年11月	不同闪烁晶体的中子探测器标定	高能所实验物理中心	钱森
2020年11月	CLYC探测器标定	清华大学	周位鑫
2021年1月	近地轨道星载中子探测器探测效率标定实验	山东大学（威海）	王硕
2021年2月	辐射转换体中子响应灵敏度标定	西核院	段宝军
2021年3月	GEM/金刚石探测器标定	高能所东莞研究部中子科学部	修青磊
2021年3月	CLYC探测器标定	清华大学	周位鑫
2021年4月	近地轨道星载中子探测器探测效率标定实验	山东大学（威海）	王硕
2021年7月	中子靶室探测器标定实验	中物院	杨彪
2021年7月	伽马闪烁体探测器标定实验	中物院	易龙涛
2021年7月	金刚石探测器标定	高能所东莞研究部中子科学部	修青磊
2021年7月	金刚石探测器标定	高能所东莞研究部 加速器技术部	牛梦臣

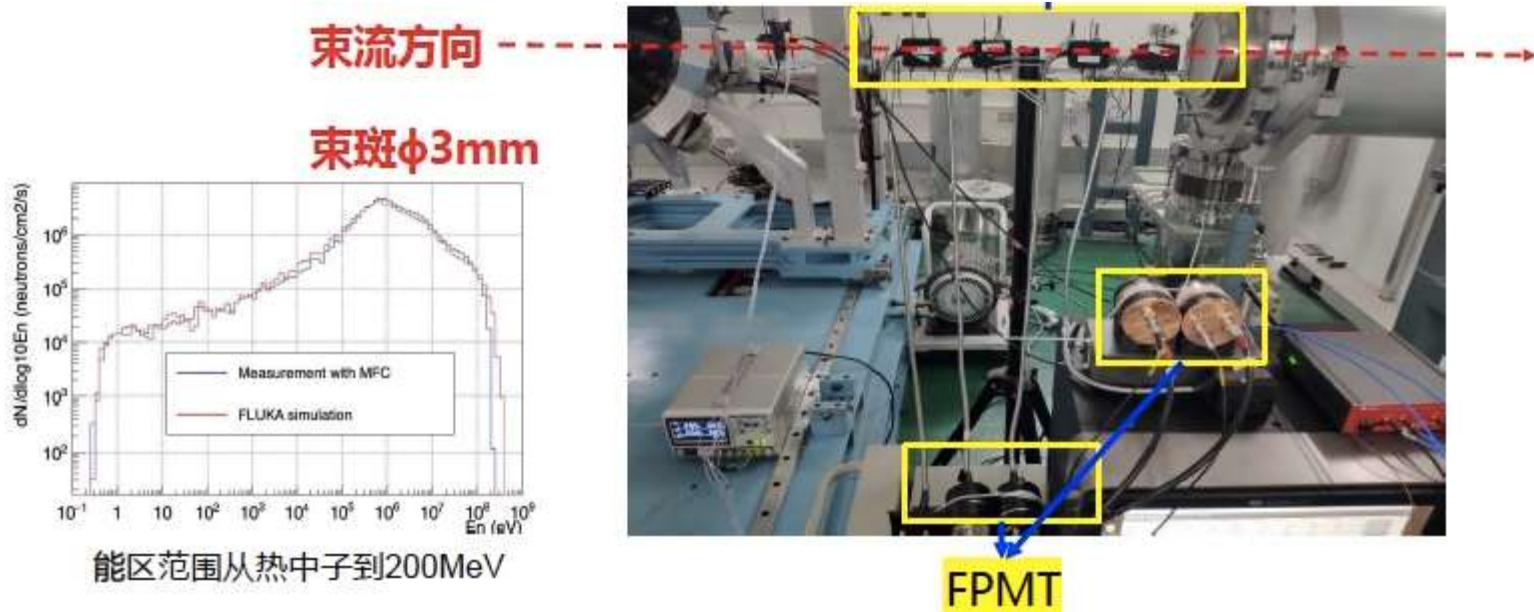
1.2 典型实验简介

下面介绍几个典型的实验

- 高能所实验物理中心 **钱森**， 几种闪烁晶体的中子探测器标定
GAGG晶体、CLYC晶体、LYSO-Gd晶体
- 清华大学 **周位鑫**， CLYC探测器标定
- 山东大学（威海校区） **王硕**， 空间硅探测器阵列中子探测效率标定
- 高能所东莞研究部中子科学部 **修青磊**， GEM和金刚石探测器标定
- 西北核技术研究院 **段宝军**， 辐射转换体中子响应灵敏度标定

1.2.1 中子闪烁体探测器：钱森

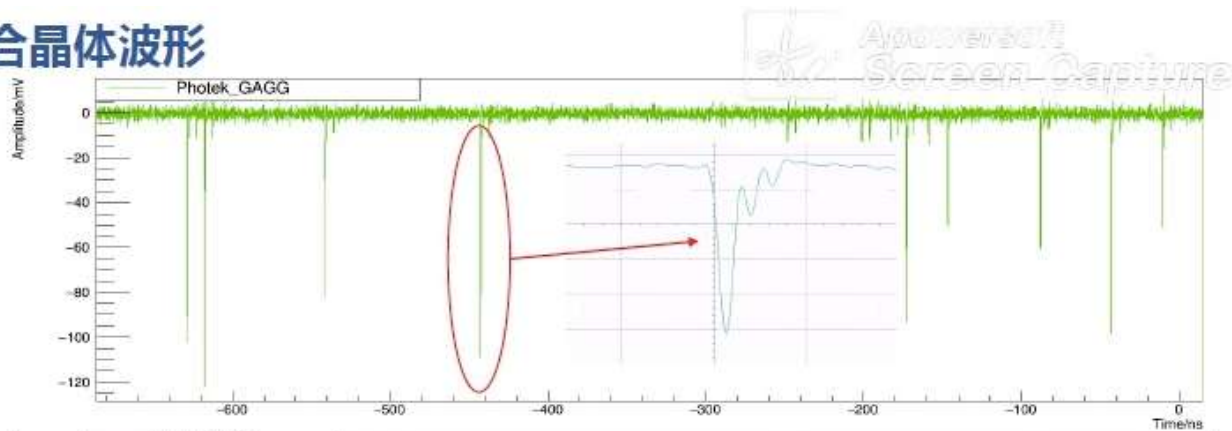
- 厅二放置待测试探测器：GAGG晶体、CLYC晶体、LYSO-Gd晶体
- 读出采用光纤引出，接快响应PMT



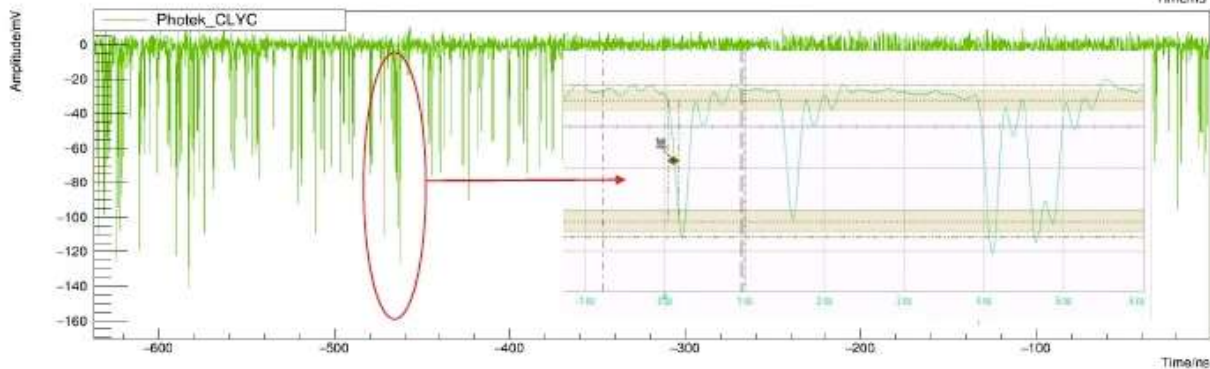
中子闪烁体探测器：钱森

FPMT耦合晶体波形

FPMT+GAGG



FPMT+CLYC

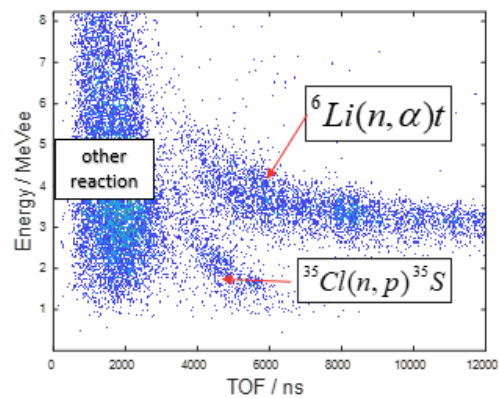
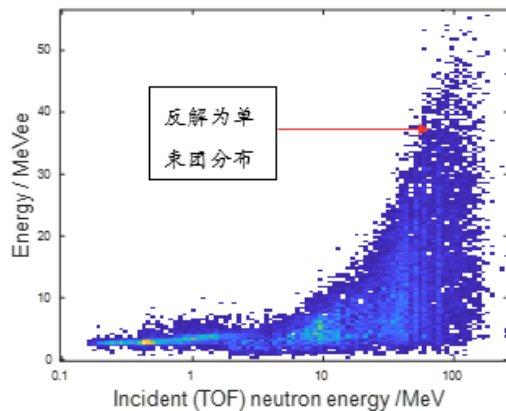
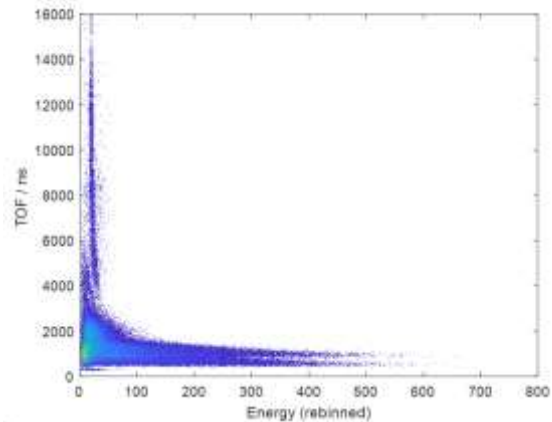
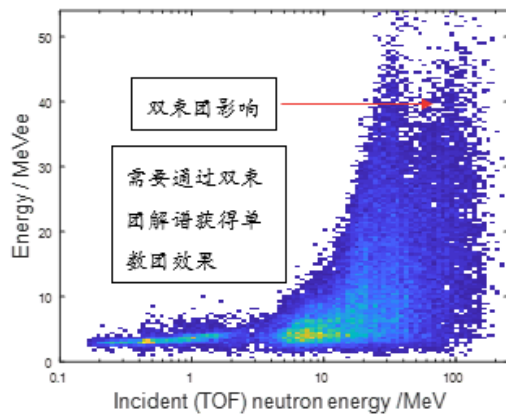


1.2.2 CLYC: 周位鑫

- 厅二 ϕ 3束斑+20cm铅砖
- 示波器采集波形

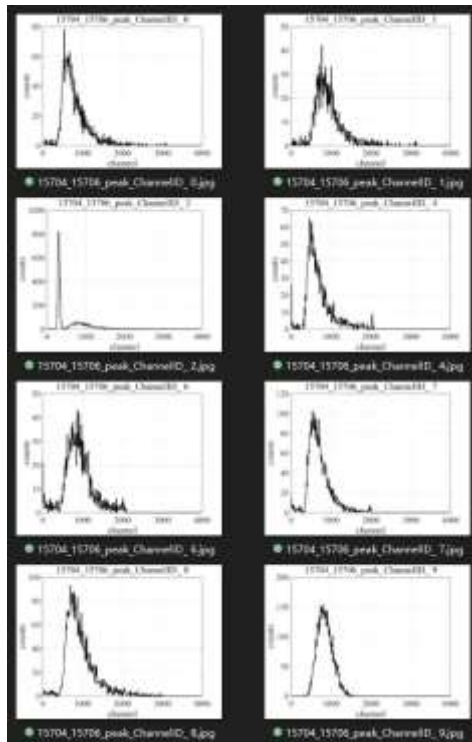
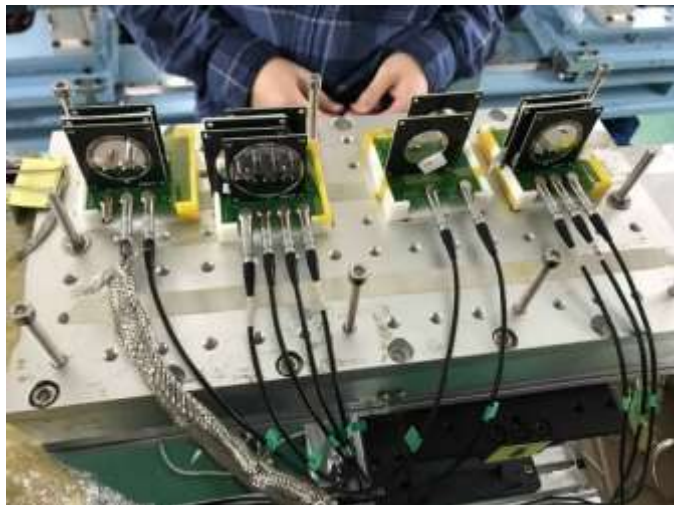


CLYC: 周位鑫



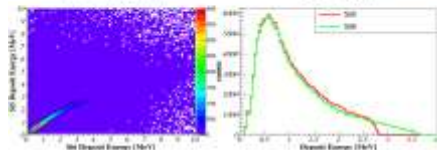
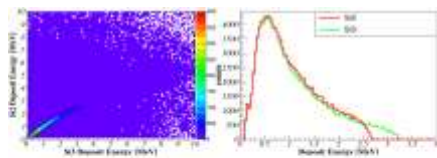
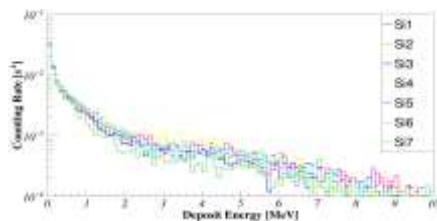
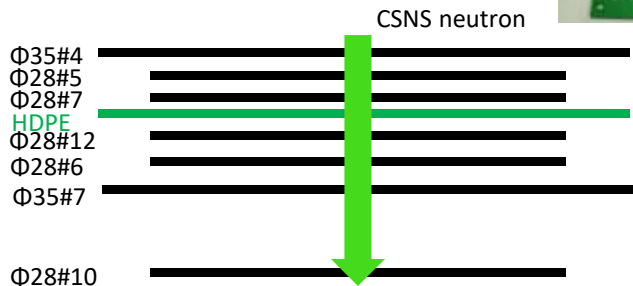
1.2.3 空间硅探测器阵列：王硕

- 厅二，探测器组原理性测试，使用mesytec外置前放和散裂中子源的获取系统

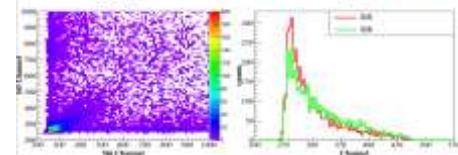
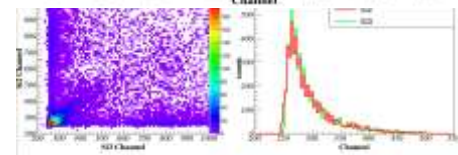
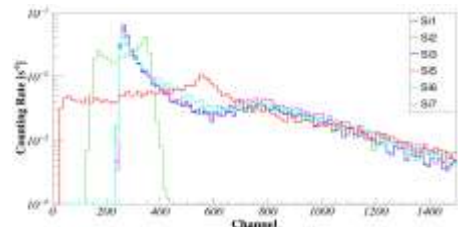


空间硅探测器阵列：王硕

- 探测器组测试，使用Skiroc 2A集成前放芯片和FPGA开发板获取



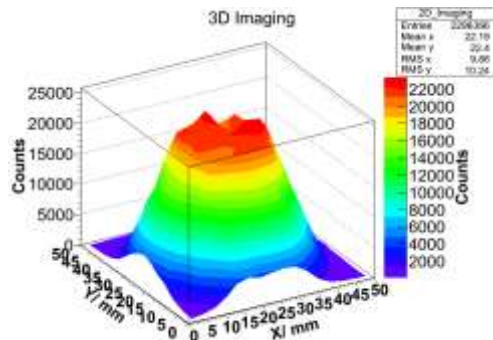
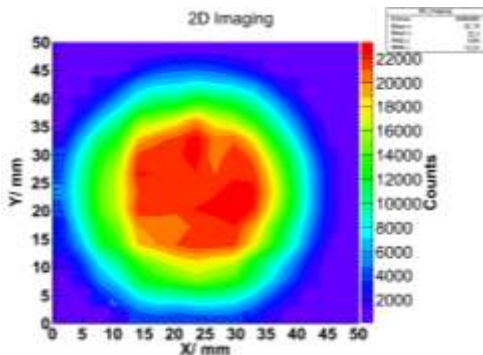
模拟结果



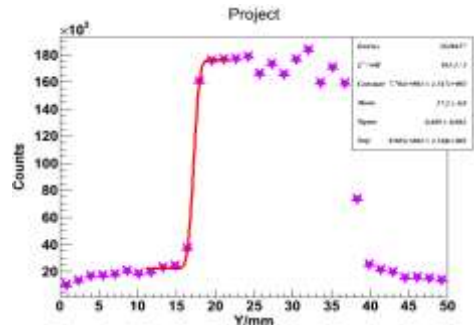
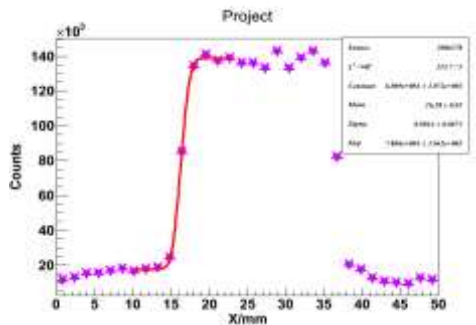
实验数据

1.2.4 GEM: 修青磊

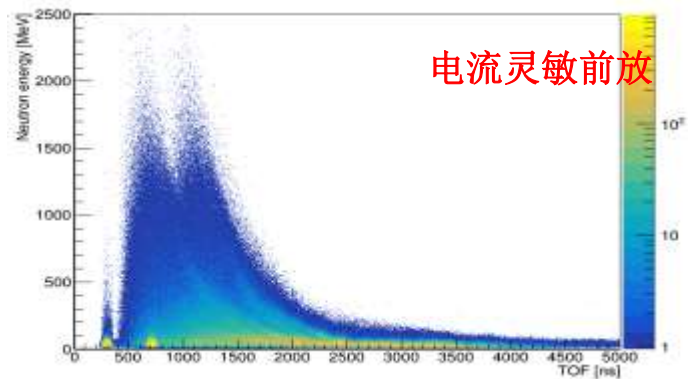
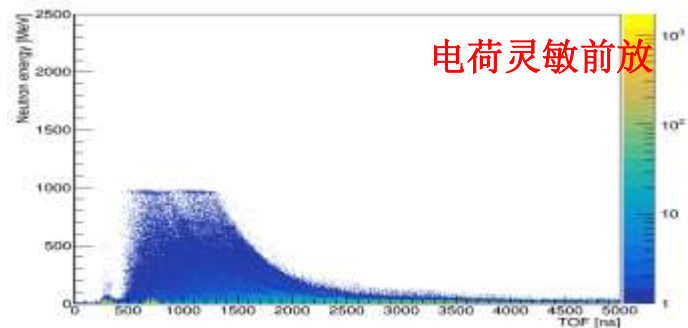
快中子束斑成像测量 ($>0.2\text{MeV}$)



位置分辨测量 ($0.2\text{MeV} < E < 40\text{MeV}$), FWHM $\sim 2.1\text{mm}$

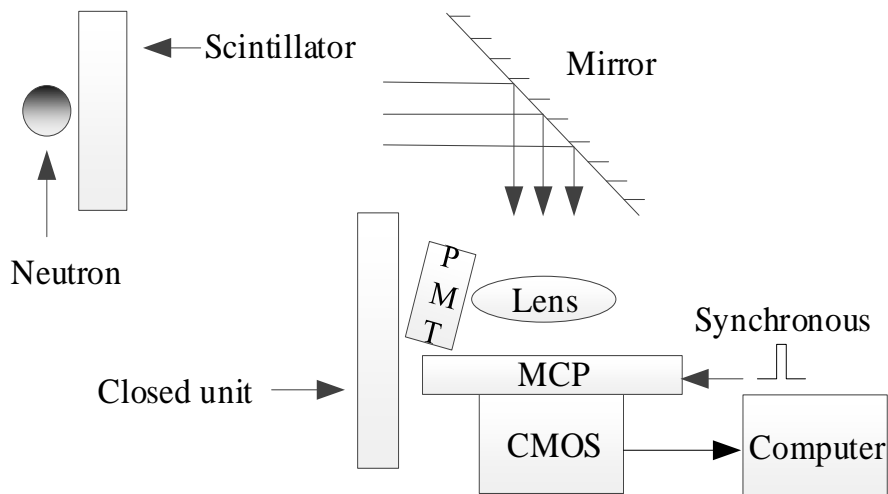


1.2.5 金刚石探测器：修青磊

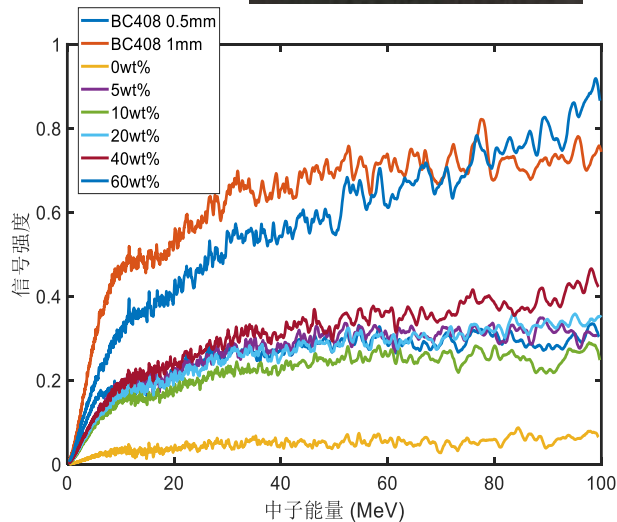


1.2.6 辐射转换体中子响应灵敏度标定：段宝军

- 厅二，束斑60mm；待测样品：光纤阵列，BaF₂复合转换体
- 采用CMOS相机和PMT

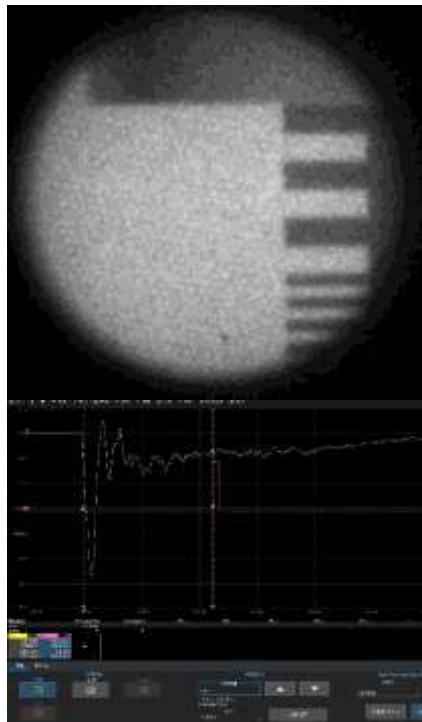


BaF₂
复合
转换
体



1.2.6 辐射转换体中子响应灵敏度标定：段宝军

- 厅二，束斑60mm；待测样品：光纤阵列，BaF₂复合转换体
- 采用CMOS相机和PMT



镜头+闪烁屏	中子能区/MeV	强度均值/(ADU/s)	中子通量n/cm2/s	灵敏度 (ADU*n ⁻¹ *cm ⁻²)
F=85mm+ BC408-5mm	2-3	78.19	1.42E+05	5.52E-04
	4.5-5.5	60.01	5.71E+04	1.05E-03
	7.5-8.5	36.86	2.63E+04	1.40E-03
	13.5-14.5	13.66	8.23E+03	1.66E-03
	2.45-2.55	7.82	1.40E+04	5.59E-04
	4.95-5.05	4.42	5.70E+03	7.76E-04
	7.9-8.1	5.11	5.26E+03	9.72E-04
	13.8-14.2	4.32	3.29E+03	1.31E-03
F=85mm+ 闪烁光纤阵列	2-3	434.87	1.42E+05	3.07E-03
	4.5-5.5	335.33	5.71E+04	5.87E-03
	7.5-8.5	205.55	2.63E+04	7.81E-03
	13.5-14.5	90.71	8.23E+03	1.10E-02
	2.45-2.55	42.70	1.40E+04	3.05E-03
	4.95-5.05	25.33	5.70E+03	4.45E-03
	7.9-8.1	31.70	5.26E+03	6.03E-03
	13.8-14.2	29.44	3.29E+03	8.94E-03

1.3 探测器标定小结

1. 测点准确的能谱是标定实验的基础（中子计量项目正在推进）；
2. 双束团对标定实验有影响（双束团解谱难题易晗已基本解决）；
3. 单束团机时依旧较少（有望少量增加）。

二、辐照实验情况

2.1 辐照实验基本情况

- 2020.10-2021.07共开展辐照实验22次。
- 4次内部实验, 18次外部实验, 516个样品。主要是半导体器件。
- 12个单位, 包括HW、HS、圣涛平等企业用户。

序号	实验名称	开始时间	类型	用户单位	负责人	数量	样品
1	HW终端单粒子效应实验	2020/10/9 8:50	用户实验	HW终端有限公司	杨煜	10	10个手机
2	北京圣涛平和北京微电子技术研究所联合测试	2020/10/16 8:40	用户实验	北京圣涛平试验工程技术研究院	孙旭朋	4	Flash,prom,sram,vdmos
3	HW-2012实验室存储器件测试	2020/10/18 9:00	用户实验	HW技术有限公司	张富山	2	2片内存1个服务器主板
4	上海安路科技单粒子效应测试	2020/10/29 9:00	用户实验	上海安路信息科技有限公司	施彬	5	5块FPGA测试板
5	HW-HS科技单粒子效应测试	2020/11/26 9:00	用户实验	HWHS有限公司	许震	2	2块SoC

序号	实验名称	开始时间	类型	用户单位	负责人	数量	样品
6	HW-HS钟强光通讯模块芯片单粒子效应测试	2020/12/31 14:15	用户实验	深圳市紫光同创电子有限公司	李泽伟	2	2片FPGA
7	深圳紫光同创单粒子效应测试	2021/12/31 8:15	用户实验	深圳市HS半导体有限公司	钟强	5	5片光通信模块
8	陈佳鑫润滑油脂辐照测试	2020/12/31 10:00	内部实验	高能所东莞分部	陈佳鑫	4	4筒油脂样品
9	余洁冰焊接件辐照测试	2021/1/1 9:00	内部实验	高能所东莞分部	余洁冰	2	2片焊接件
10	黄蔚玲--纳米晶非晶磁合金环中子辐照损伤测试	2021/1/21 10:00	内部实验	高能所东莞分部	黄蔚玲	1	1个磁环
11	樊瑞睿能量相关单粒子翻转测试	2021/1/23 8:40	内部实验	高能所东莞分部	樊瑞睿	1	1个FPGA
12	北师大自研SiPM辐照损伤测试	2021/1/25 15:00	用户实验	北京师范大学	唐彬	20	20片SiPM

序号	实验名称	开始时间	类型	用户单位	负责人	数量	样品
13	HS光通信模块单粒子效应测试	2021/1/25 14:00	用户实验	深圳市HS半导体有限公司	毛保平	12	12个模块
14	HW-IGBT器件测试	2021/3/15 15:00	用户实验	HW技术有限公司	杜江	270	270片IGBT
15	山东大学硅像素探测器抗辐照测试	2021/3/22 8:30	用户实验	山东大学	李龙	2	2片硅像素芯片
16	新疆理化所光电导开关器件抗辐照测试	2021/4/6 8:30	用户实验	航天八院&新疆理化所	周东	1	1个光电导开关
17	HW&斯达半导体FRD芯片联合测试	2021/4/7 14:00	用户实验	HW技术有限公司	杨磊	128	128片FRD
18	新疆理化所航天八院联合测试大剂量离线测试	2021/4/12 14:00	用户实验	航天八院&新疆理化所	周东	3	3个光电导开关

序号	实验名称	开始时间	类型	用户单位	负责人	数量	样品
19	广州地化所张万峰ArAr地质样品辐照测试	2021/4/19 11:30	用户实验	广州地化所	张万峰	5	5管地质样品
20	深圳紫光同创单粒子效应测试	2021/4/27 14:00	用户实验	深圳市紫光同创电子有限公司	李泽伟	1	1片FPGA
21	西北核技术研究院光电器件辐照效应测试	2021/7/13 12:00	用户实验	西北核技术研究院	薛院院	33	二极管 cmos ccd 相机
22	深圳HS科技DIM内存单粒子效应测试	2021/7/15 16:00	用户实验	深圳市HS科技有限公司	丁文明	3	2 DIM板 1 海思板
合计			4+1 8			51 6	个样品

2.2 典型用户实验

- HW、HS企业手机、IGBT器件、光通讯模块、内存条等
- 紫光同创-FPGA、安路科技-FPGA等
- 山东大学CEPC硅像素探测器、广州地化所地质样品等

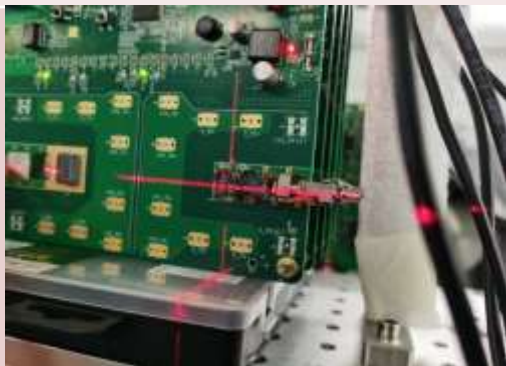
2.2.1 典型用户实验1



HW终端手机内存



HW-IGBT器件



HS光通讯模块



HW服务器内存条

2.2.2 典型用户实验2



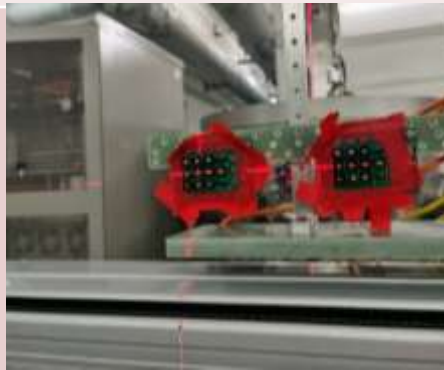
紫光同创-FPGA



安路科技-FPGA



斯达半导体-FRD



北师大自研SiPM辐照损伤测试

2.2.3 典型用户实验3



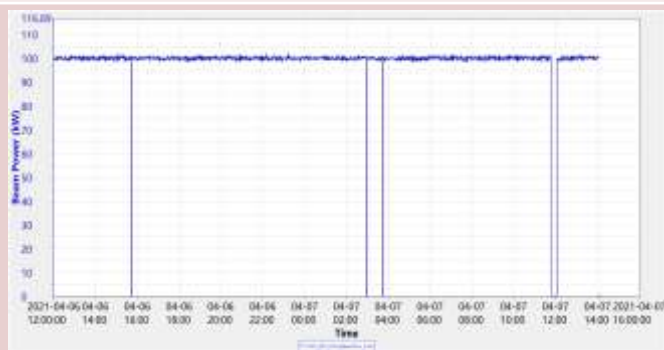
山东大学CEPC硅像素探测器(宁常军)



北京圣涛平&北京微电子所



广州地化所地质样品(宁常军)



新疆理化所&航天八院

2.3 内部实验



陈佳鑫-油脂辐照测试



余洁冰-焊接件辐照测试



黄蔚玲-非晶纳米合金



樊瑞睿-时间分辨SEU

2.4 其他情况

主控制界面已更新



可以直观地显示通用辐照平台和捕集器内的样品情况

2.5 辐照实验小结

- 反角白光中子源为国民经济建设作出了重要贡献。
- 中子注量率还是不够高，单粒子效应事件率低，辐照实验时间长。
- 主控制界面已更新，实验更为便捷。

三、中子计量项目进展

3.1 项目简介

探测器标定和其它物理实验的开展都需要准确知道CSNS反角白光中子源的中子能谱等关键性能参数。围绕白光束线的中子计量学研究是一个基础性的科研课题。

-
- **技术基础项目：散裂白光中子源飞行时间法中子能谱计量技术研究**
 - 2020年项目获得批复，经费已下达。
 - 研究周期**4年**：2020.1~2023.12

原子能院计量测试部（国防电离辐射一级计量站）

原子能院核数据中心

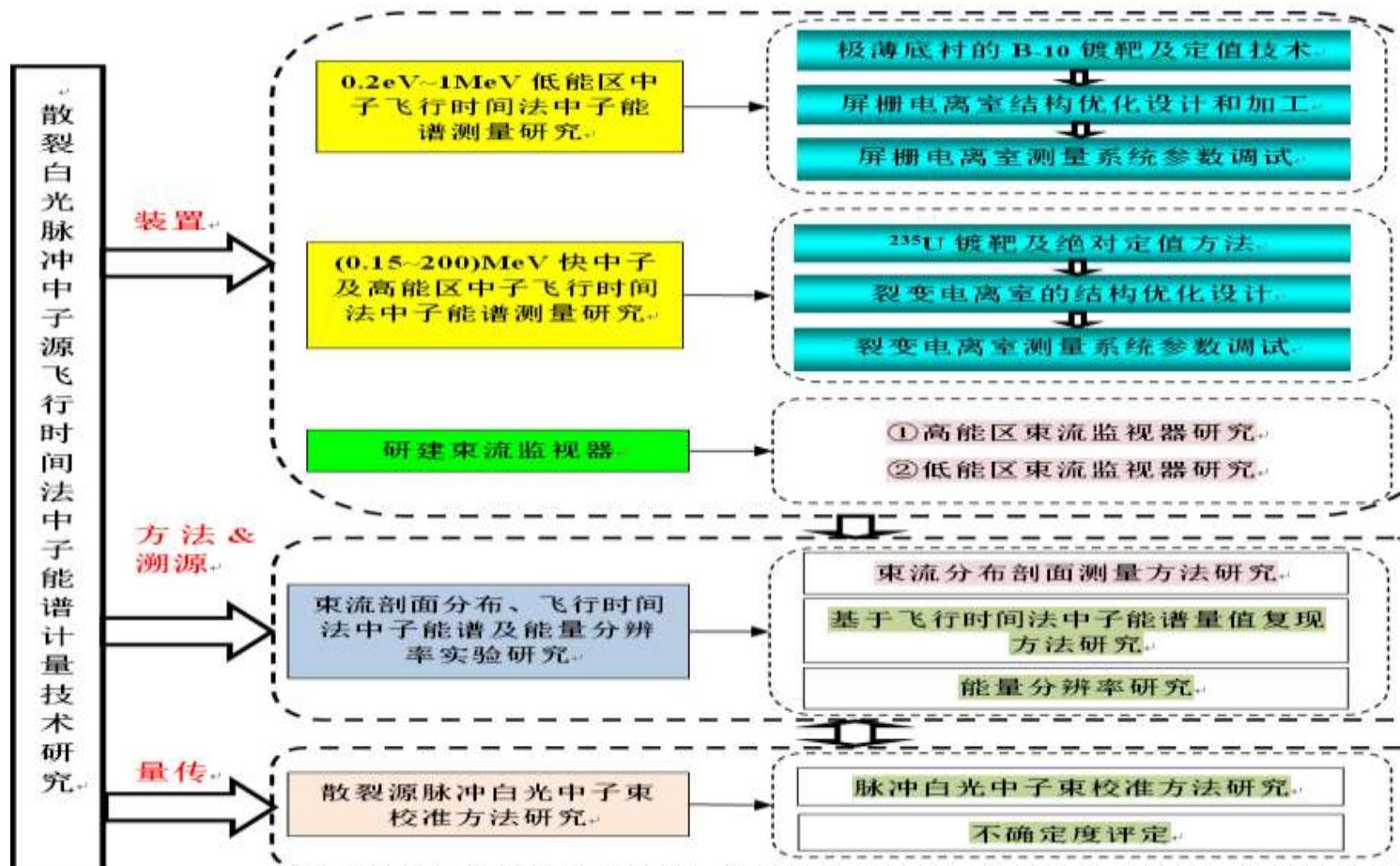
西北核技术研究院

中国工程物理研究院核物理与化学研究所

中科院高能所

西安交通大学

主要研究内容



量值溯源与传递方法

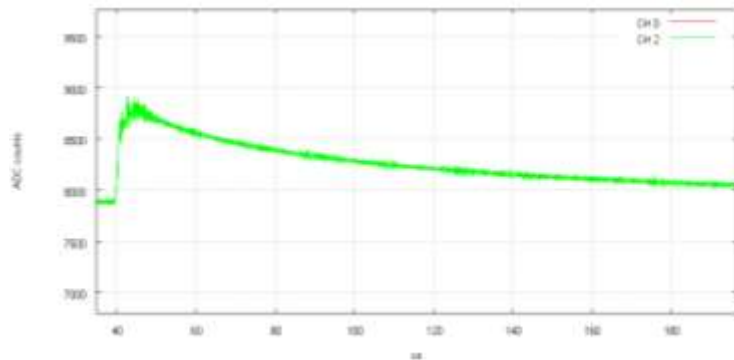
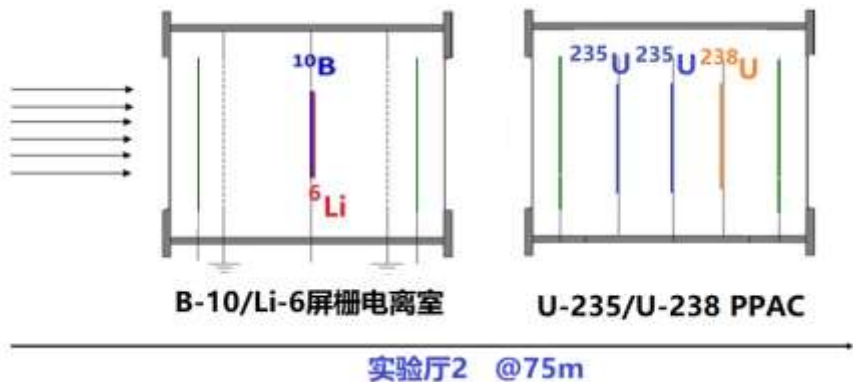


3.2 2020年存在问题

2020年11月CSNS白光源信号调试

屏栅电离室GIC存在的问题: Gamma-flash信号太强, 信号拖尾严重

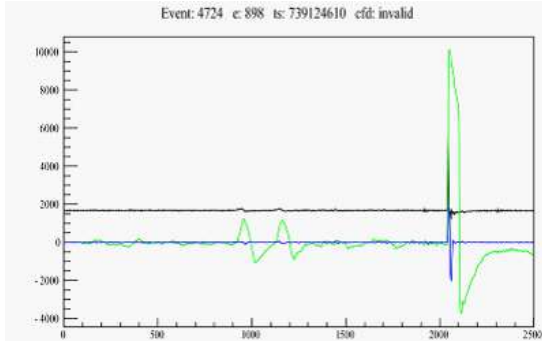
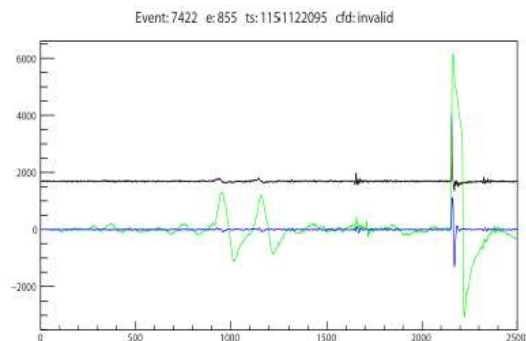
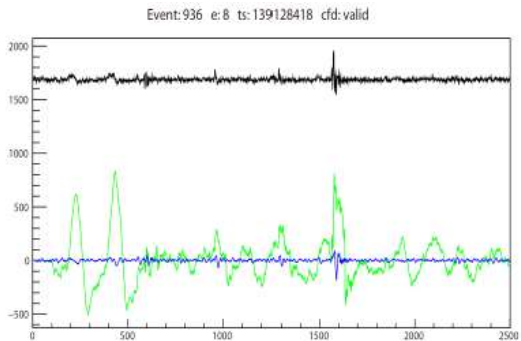
- ◆ 前放问题: ORTEC142PC的T输出信号拖尾太长, gamma-flash和中子信号不能快速恢复至基线, 不能用于tof定时;
- ◆ 信号幅度小: $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ 和 $^6\text{Li}(n,\alpha)$ 的 α 粒子能量小输出幅度约20mV~40mV。



2020年11月CSNS白光源信号调试

平行板雪崩电离室PPAC:

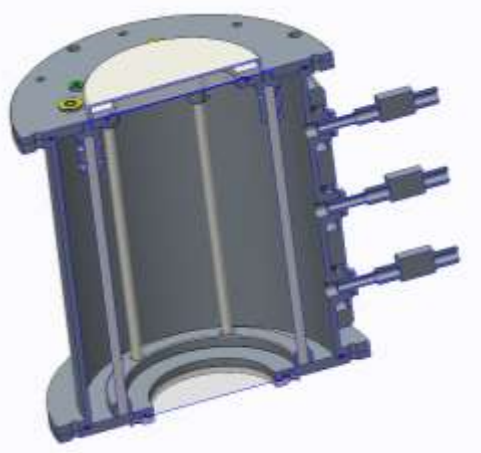
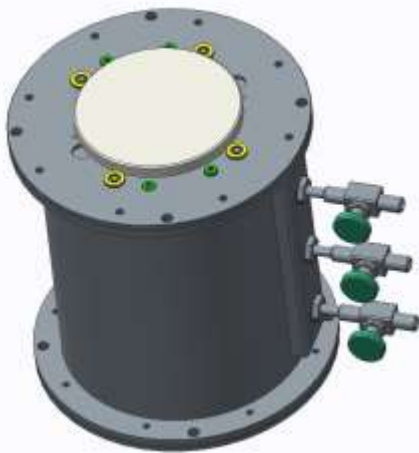
信号正常，方案可行，进一步优化探测器参数



3.3 2021年进展情况

GIC改进

- ◆ 根据准直器出口尺寸重新设计；
- ◆ gamma-flash影响及中子信号拖尾：选用电子漂移速度快、阻止本领大的工作气体；选用快前放；
- ◆ 进一步改进薄低衬B-10镀靶及定值。

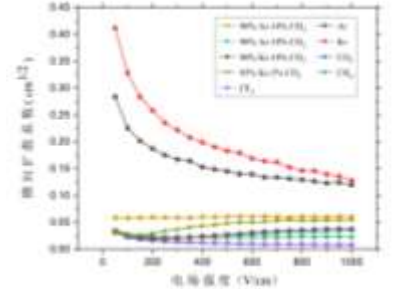
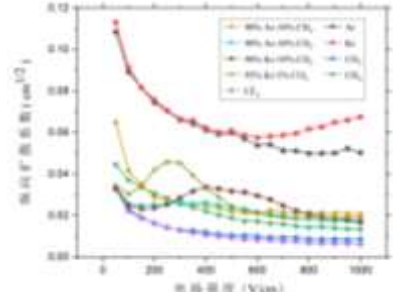
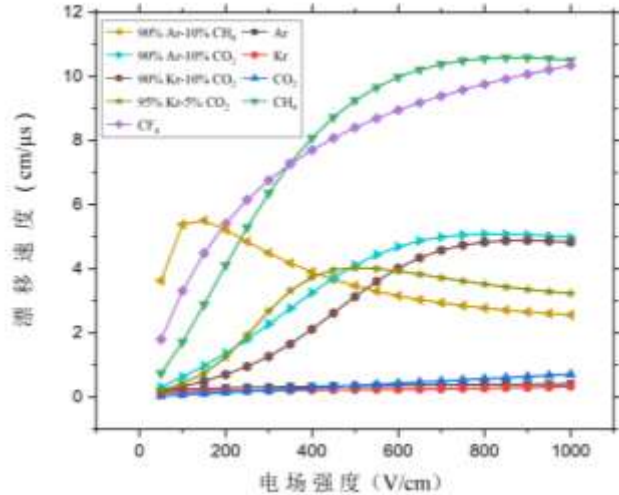


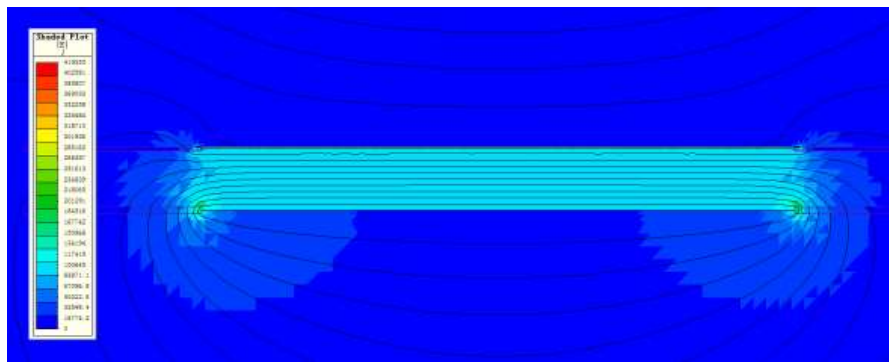
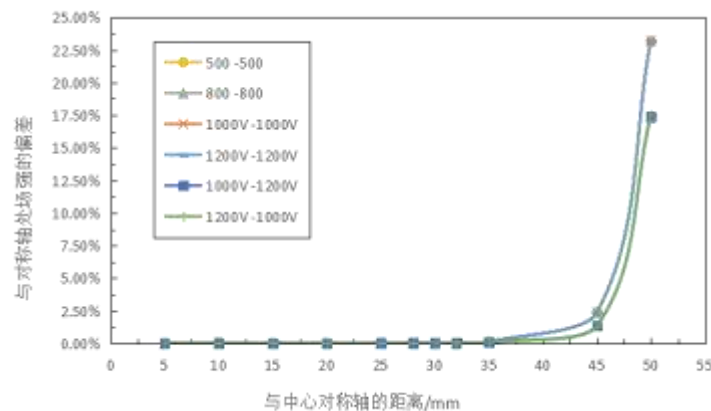
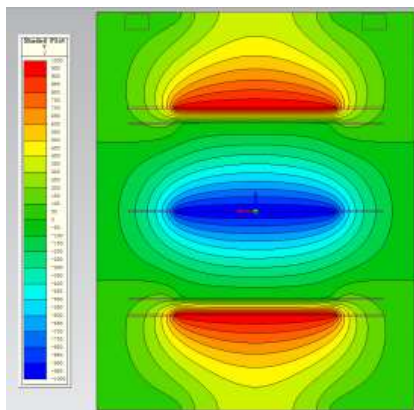
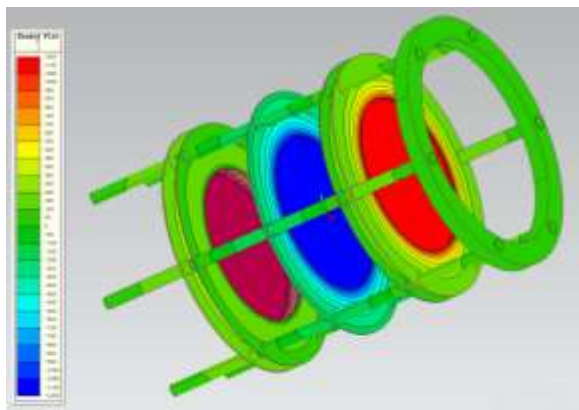
- 内径： $\Phi 200\text{mm}$
- 高度：250mm
- 电极内径： $\Phi 100\text{mm}$
- 镀靶活性区： $\Phi 60\text{mm}$

SRIM计算的 α 粒子在几种气体中的射程

E_α /MeV	工作气体	射程/mm
1.49 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$	90%Ar+10%CH ₄	8.38
	90%Ar+10%CO ₂	7.97
	CF ₄	3.18
2.05 $^6\text{Li}(n,t)^4\text{He}$	90%Ar+10%CH ₄	11.88
	90%Ar+10%CO ₂	11.25
	CF ₄	4.36
5.16 (^{239}Pu 源)	90%Ar+10%CH ₄	40.73
	90%Ar+10%CO ₂	38.25
	CF ₄	13.98
5.48 (^{241}Am 源)	90%Ar+10%CH ₄	44.54
	90%Ar+10%CO ₂	41.81
	CF ₄	15.27
5.81 (^{244}Cm 源)	90%Ar+10%CH ₄	48.63
	90%Ar+10%CO ₂	45.63
	CF ₄	16.65

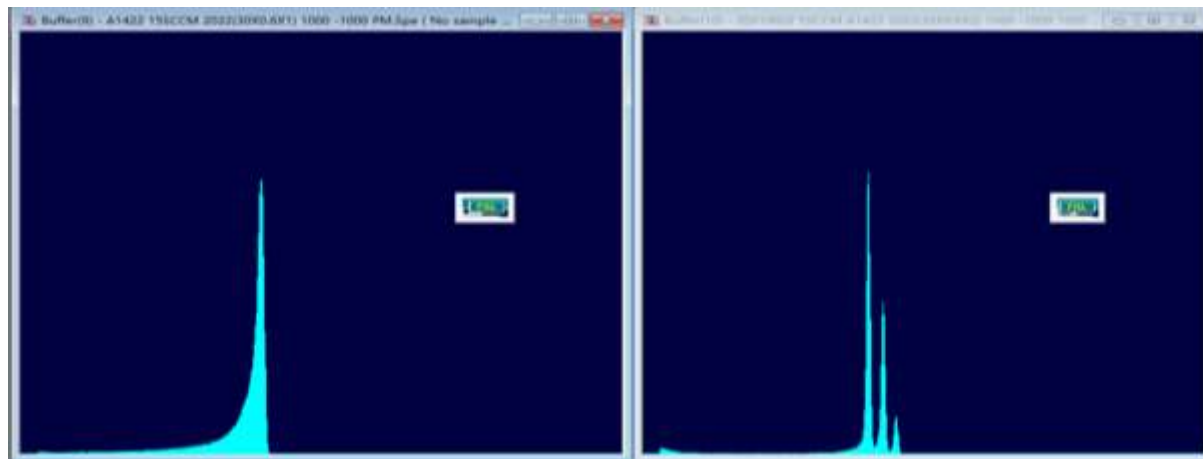
- ◆ Garfield++计算电子漂移速度和扩散系数
- ◆ 电子在CF₄中具有较快的漂移速度、较小的扩散系数





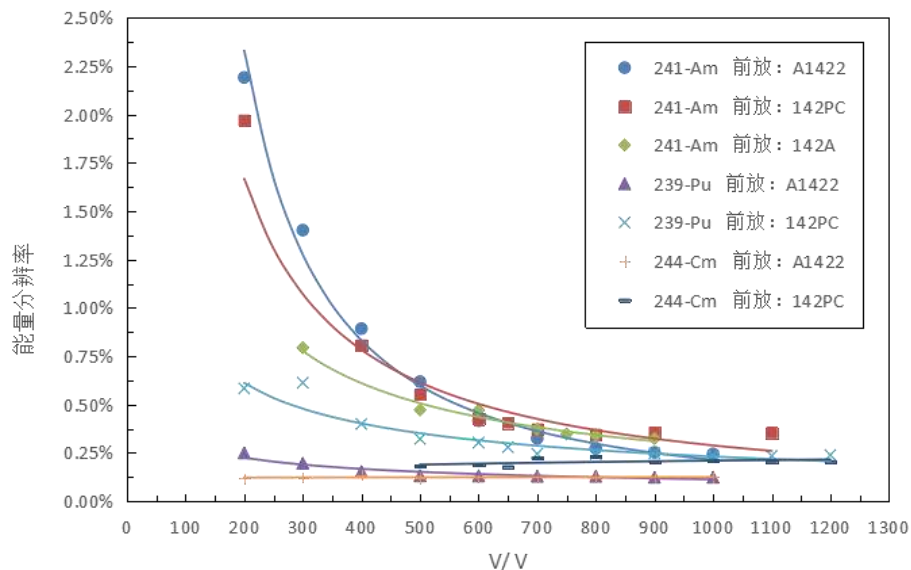
- ◆ Simcenter MAGNET Electric 程序模拟的屏栅电离室电场分布情况
- ◆ 电压大小对电场均匀区的影响不大， $\Phi 70\text{mm}$ 以内电场均匀

- ◆ α 源调试： ^{241}Am 源、 ^{239}Pu - ^{241}Am - ^{244}Cm 混合源
- ◆ 工作气体：P10 (90%Ar-10%CH₄)，流气式，气体流量：15ml/min
- ◆ 阳极-栅极间距：50mm；栅极-阴极间距：10mm
- ◆ 前放：A1422、142PC、142A和MSI-8

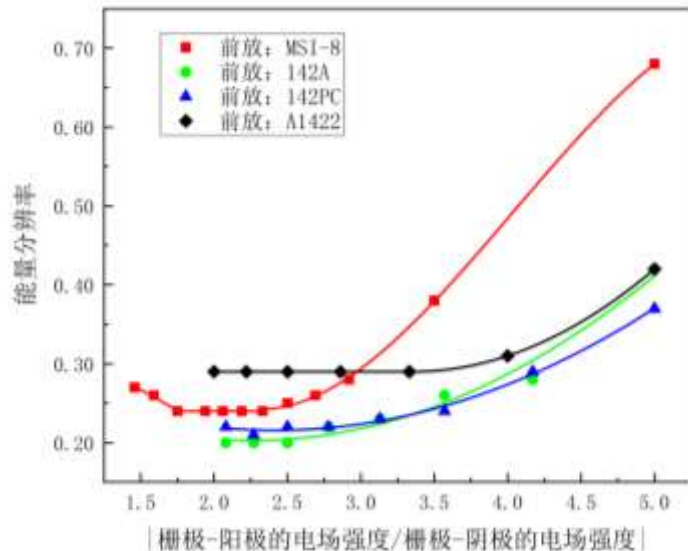


◆ 栅丝半径0.05mm，栅丝间距2mm，电场比值的临界值 Z_c 应大于1.373

◆ Z_c 在2.0~2.5之间时屏栅电离室具有较好的能量分辨



几种前放测得的能量分辨率随电压的变化

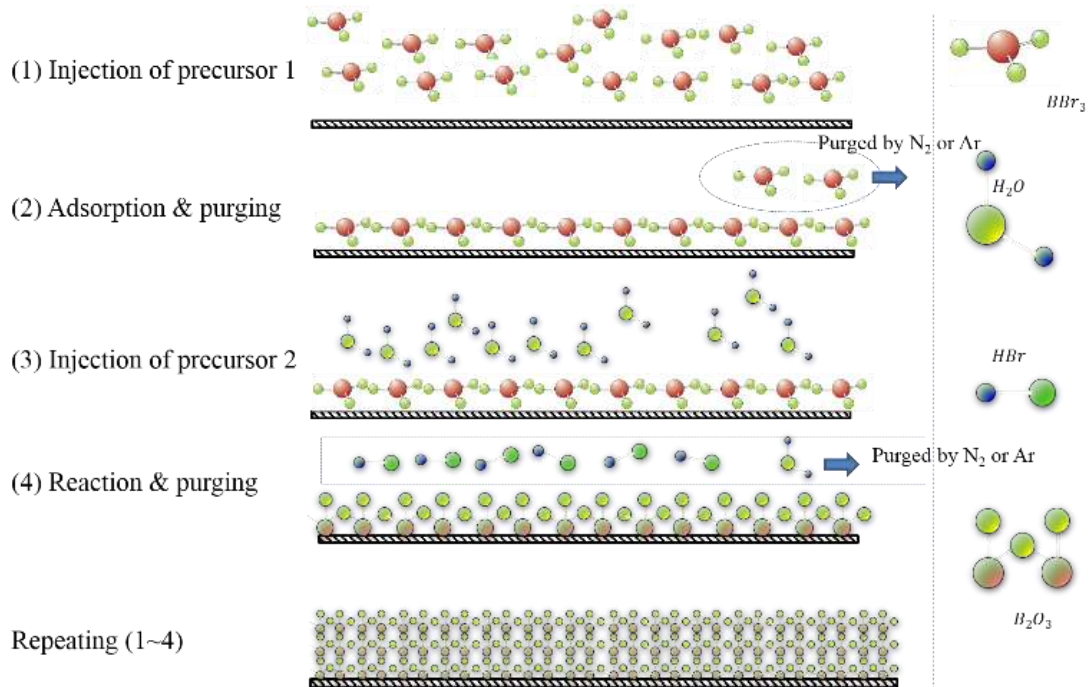


几种前放对 ^{241}Am α 源的能量分辨率随 Z_c 的变化

- ◆ 用信号发生器ORTEC419测试了几种前放的增益
- ◆ 较快前放142A和MSI-8的T输出增益都较小，目前正在进一步调试中

输入信号幅 值/mV	前放类型	前放输出信 号幅值/mV	增益
-600	142PC E out	+2000	3.3
	142PC T out	+2000	3.3
	142A E out	+200	0.33
-2000	142A E out	+840	0.42
	142A T out	-460	0.23
	MPR-1 +	-640	0.32
	MPR-1 T out	+480	0.24
-2300	A1422 E out	+480	0.24
	MSI-8 E out	3500	1.52
	MSI-8 T out	-920	0.4

◆ 采用溴化硼 (BBr_3) 通过原子层沉积技术 (ALD) 制备 B_2O_3 靶



6 μ m厚Mylar膜底衬

□ 硼膜的表征与性能测试

◆ 1个宏循环：250层 B_2O_3 +50层ZnO(保护层)

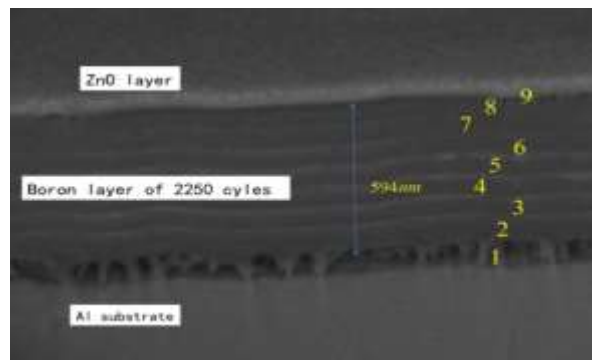
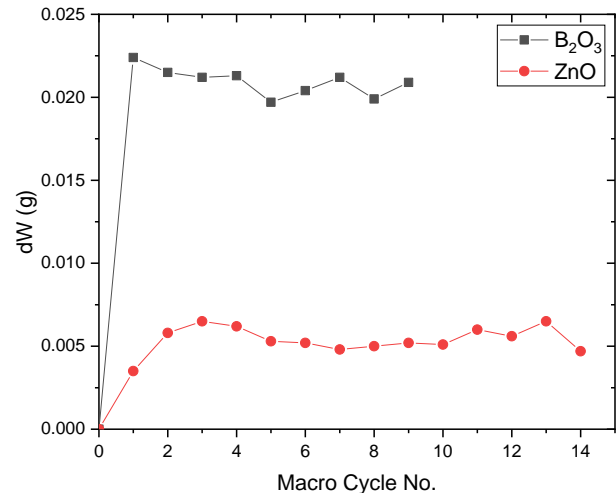
◆ 每个宏循环后用万分之一天平称重，见右图

◆ 单层 B_2O_3 膜厚度：23.7ng/cm²

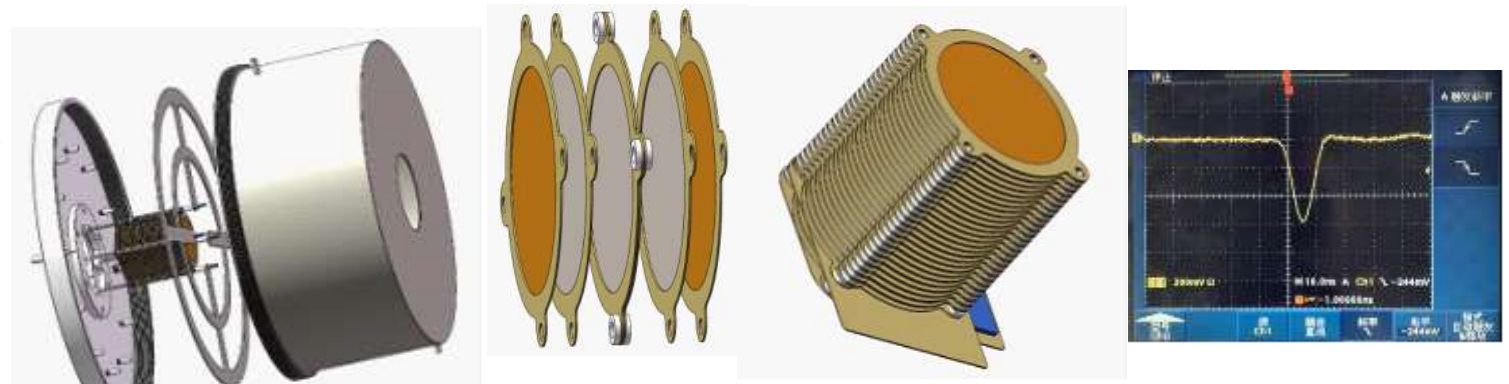
◆ 单层ZnO膜厚度：41.9 ng/cm²

◆ B_2O_3 镀靶总厚度：61.62μg/cm²

◆ 硼膜的扫描电镜SEM图像表明，该ALD工艺制作的薄膜致密，平整。

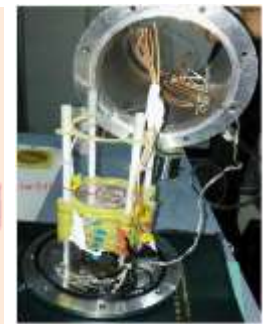
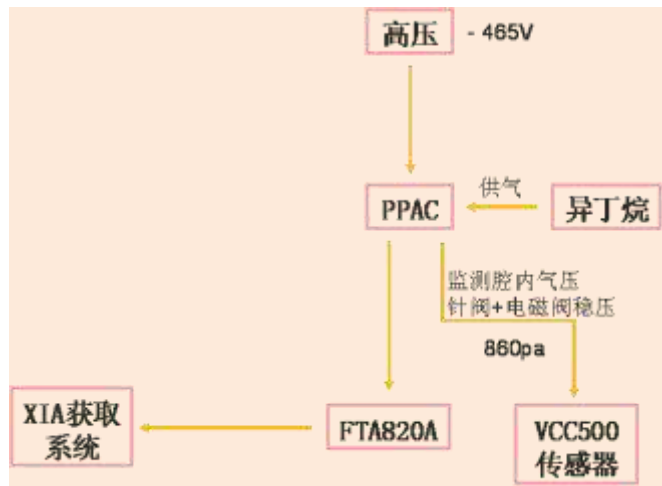


PPAC改进

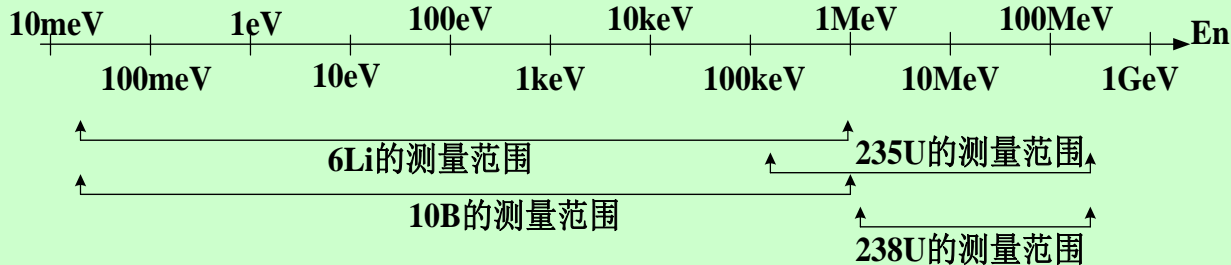
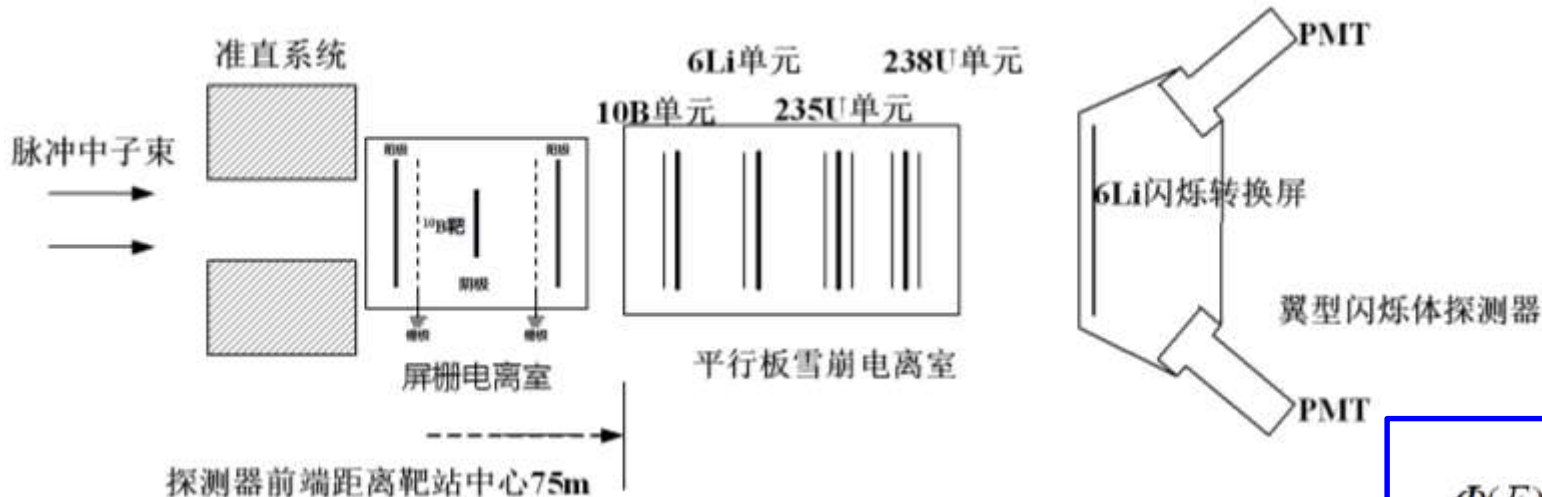


◆ 探测器外形400×200mm，出射-入射窗直径100mm，灵敏区60mm

◆ 每个PPAC的时间分辨
FWHM<1ns，位置分辨3mm



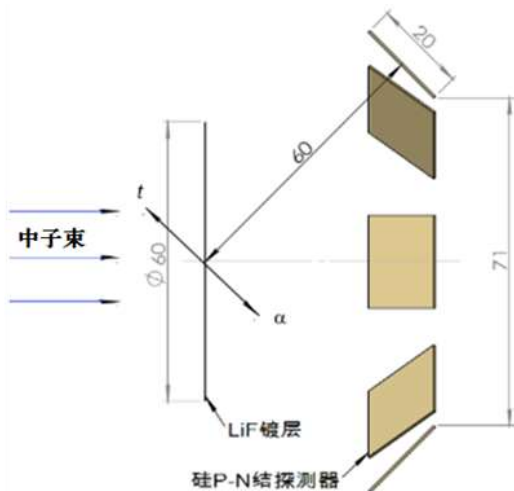
原子能院
鲍杰提供



$$\Phi(E) = \frac{N(E)}{\sigma(E)\epsilon N_v}$$

- 探测器计数
- 截面/效率
- 靶物质准确定量
- 连接点归一
- 不确定度分析

ES2#束流 监视器



- ◆ 参照1厅现有 $^6\text{Li-Si}$ 探测器;
- ◆ 该束流监视器将固定安装于ES2#;
- ◆ $^6\text{Li-Si}$ 束流监视器: 2个 ^6LiF 镀靶, 8个硅探测器, MSI-8前放, 真空穿墙件和用于监视器固定的结构功能件等;
- ◆ 目前正在加工制作中。

高能所李强负责

4. 下一步工作计划



四、结束语

4. 结束语

- CSNS及其反角白光中子源为我们开展探测器性能研究、辐照实验、中子计量学和其它相关应用研究提供了很好的实验平台。
- 过去的一年是非常不平凡的一年！疫情给我们的实验安排和学术交流造成了很大的影响。希望本次线上会议，大家积极交流、分享经验和体会，有利于各个不同领域研究水平的不断提高。
- 欢迎大家对我们的工作提出意见和建议，我们将与CSNS束流扩展应用组一起，为提高CSNS Back-n的利用效率，多出成果、出好成果而共同努力！

-
- 本报告得到了中国原子能科学研究院计量测试中心刘毅娜，高能所东莞分部谭志新、易晗、樊瑞睿，西北核技术研究院段宝军、张显鹏等同志的支持和帮助！在此一并表示诚挚的谢意！

敬请批评指正!

谢谢大家!