



兰州大学



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

## 密闭GEM中子探测器研制

周建晋<sup>1,2</sup>, 周健荣<sup>2,3</sup>, 周晓娟<sup>2,3</sup>, 孙志嘉<sup>2,3</sup>, 陈元柏<sup>2,3</sup>, 丁宝卫<sup>1</sup>

- 1) 兰州大学
- 2) 中国科学院高能物理研究所
- 3) 核探测与核电子学国家重点实验室

第十届全国先进气体探测器研讨会

2021/10/23

# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

03 中子束流测试

04 稳定性测试

05 总结展望

# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

03 中子束流测试

04 稳定性测试

05 总结展望

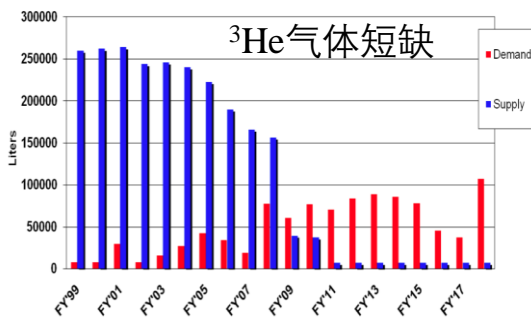
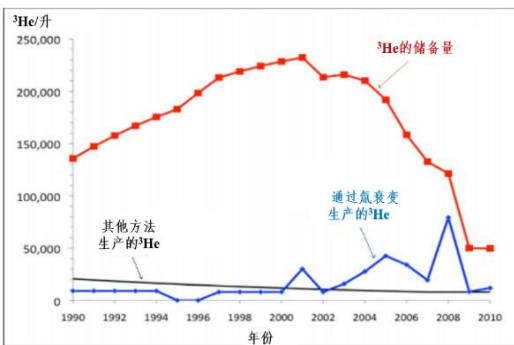
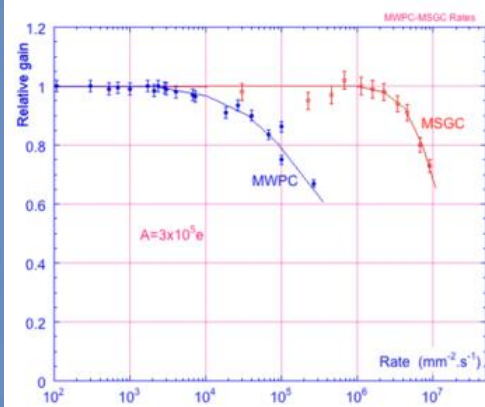
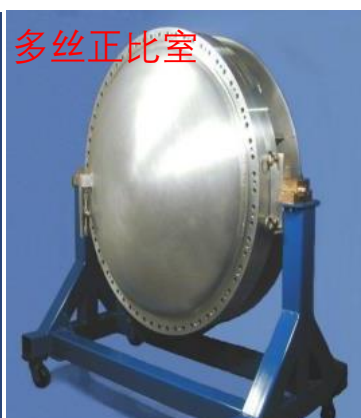
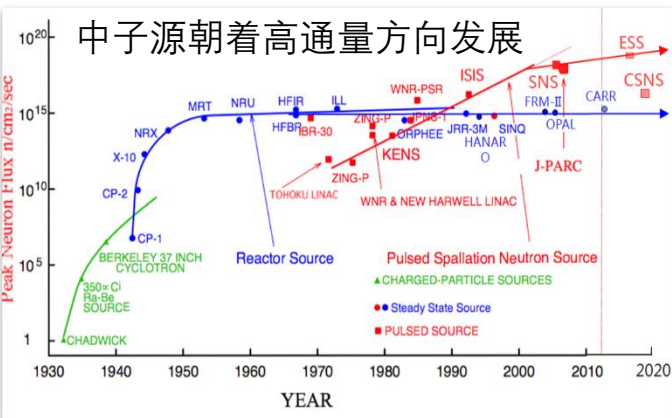
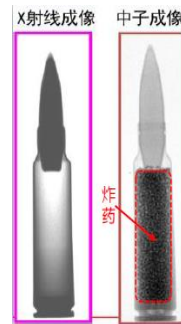
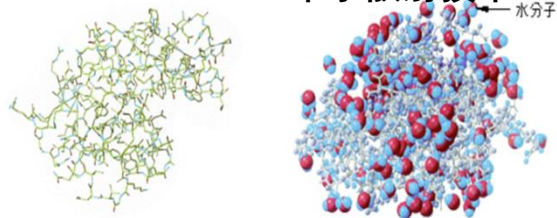
# 研究背景

## 中子特点:

- 电中性，穿透力强。
- 轻元素敏感，区分同位素，与X射线技术互补。
- 有磁矩，可以进行磁性微观分析。

## 蛋白质结构

X射线散射技术 中子散射技术



## 面临挑战:

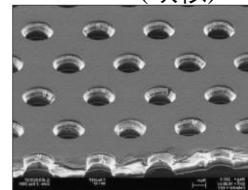
- 计数率低(~100kHz), 限制了中子通量测量的动态范围, 无法满足中子源越来越高的通量, 计数率~1MHz。
- ³He气体的短缺, 迫切需要研制替代³He的新型中子探测器。

# 国内外研究现状

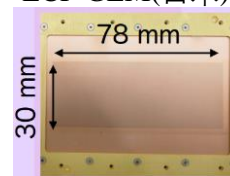
## GEM优势:

- ◆ 计数率高(10MHz/mm<sup>2</sup>)， $\gamma$ 抑制能力强，耐辐照
- ◆ 高分辨，本征位置分辨率~100 $\mu$ m，本征时间分辨~10ns
- ◆ 可制作成各种形状，如平面、桶型、弧形等
- ◆ 可大面积制作，成本相对较低

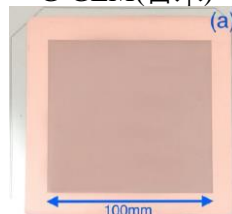
GEM(欧核)



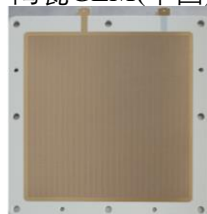
LCP-GEM(日本)



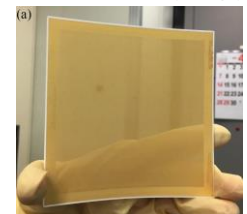
G-GEM(日本)



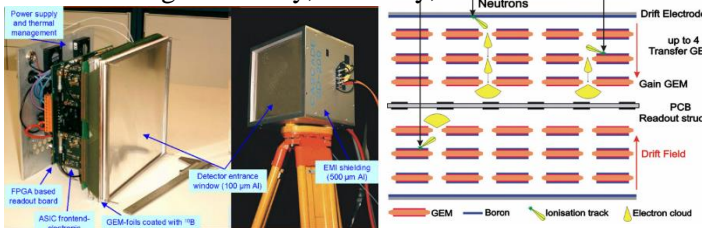
陶瓷GEM(中国)



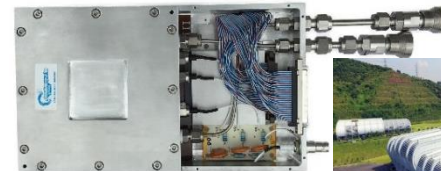
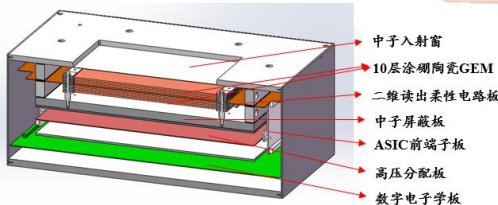
LTCC-GEM(日本)



Heidelberg University, Germany, 2011



CSNS, China, 2019



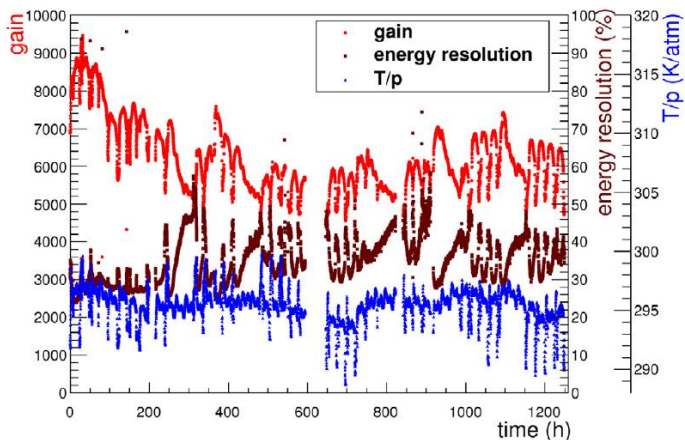
CSNS中子束流监测器



## 密闭GEM探测器优势:

- 探测器性能不受外界大气变化的影响
- 摆脱气瓶以及供气系统的束缚，使用范围更广
- 气室压力可根据应用需求自定义

目前国际上GEM中子探测器绝大部分采用流气式工作模式，还没有成熟的密闭式GEM中子探测器方案，主要原因是核心器件—常规的GEM膜由有机绝缘物质制备而来，材料自身放气量大，探测器无法长期稳定工作。



$$G\left(\frac{T}{P}\right) = Ae^{B\alpha} = A'e^{B'T/P}$$

G增益, AB为系数,  $\alpha$ 汤生第一电离系数, T温度, P压力

# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

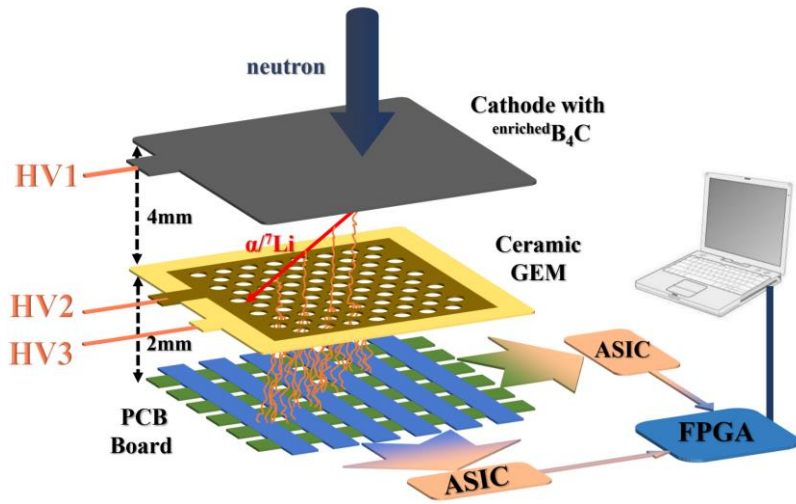
03 中子束流测试

04 稳定性测试

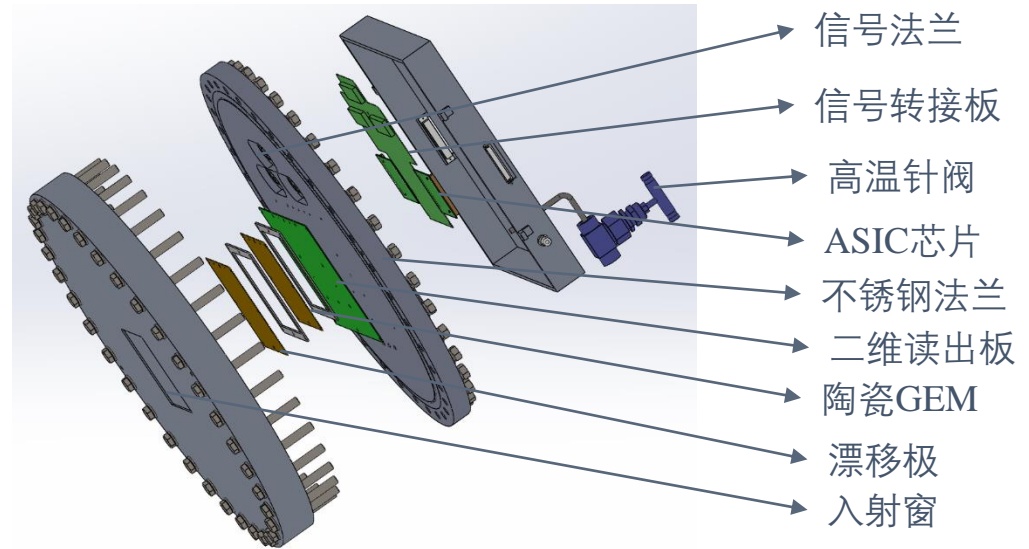
05 总结展望

# 探测器设计与关键技术

探测器原理图



探测器组成



难点与核心问题:

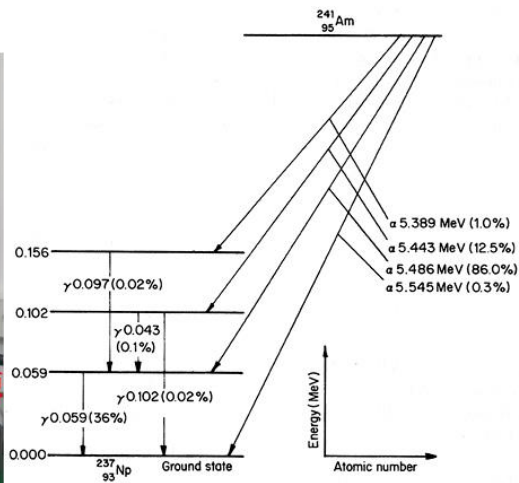
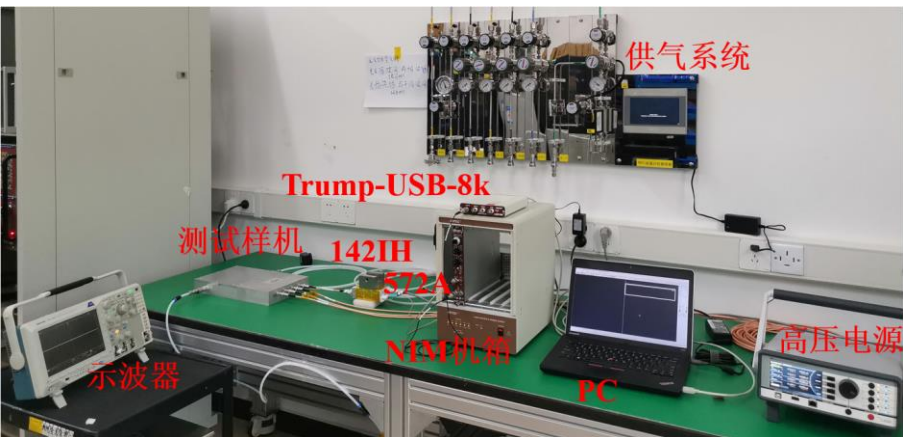
- ◆ 探测器**密闭和除气(Outgassing)**, 提高探测器寿命和长期稳定性;
- ◆ 研发**耐高温烘烤放气少的陶瓷GEM**。

关键技术:

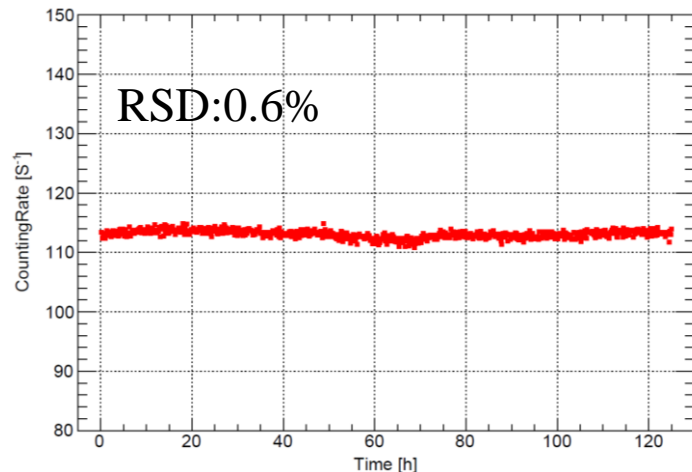
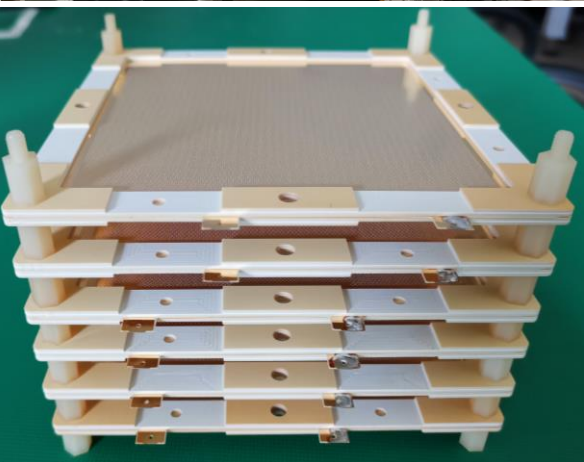
- **探测器密闭** (保证探测器长期稳定工作)
- **陶瓷(高温)GEM** (减少材料放气)
- **快速读出电子学** (实现>1MHz的计数率)

# 高温陶瓷GEM

陶瓷GEM基于PCB工艺研发，孔径 $200\mu\text{m}$ ，周期 $600\mu\text{m}$ ， $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 需要3万多个孔，目前可以批量生产常温下的陶瓷GEM。其对中子的散射吸收更小，材料放气更少、可高温烘烤。通过现有工艺迭代升级，研发耐**高温**的陶瓷GEM，大幅度降低材料自身放气并提高除气效果，实现密闭探测器长期稳定工作。



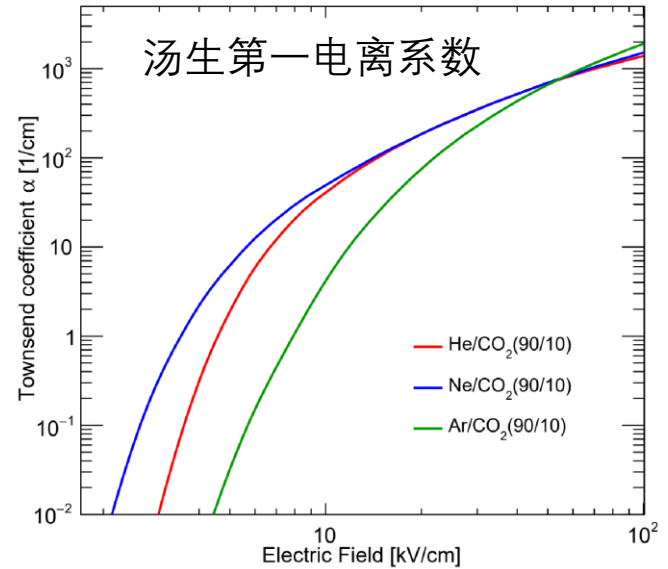
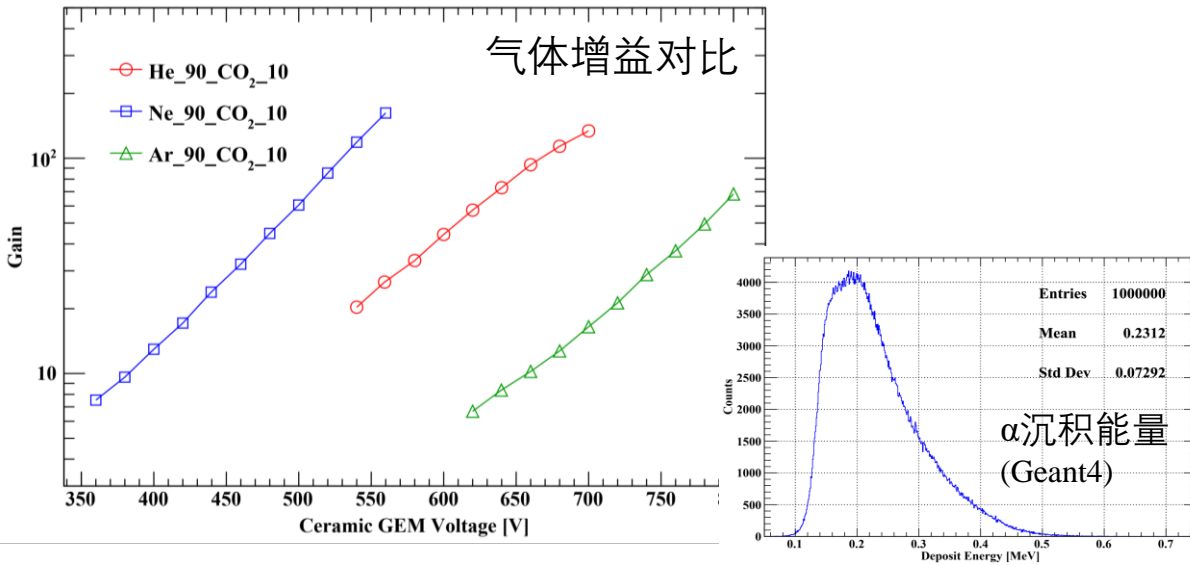
选用 $^{241}\text{Am}$ (约5.4MeV  $\alpha$ )作为辐照源测试，其与中子具有相似的信号特征(相似的着火通道与时间周期)。



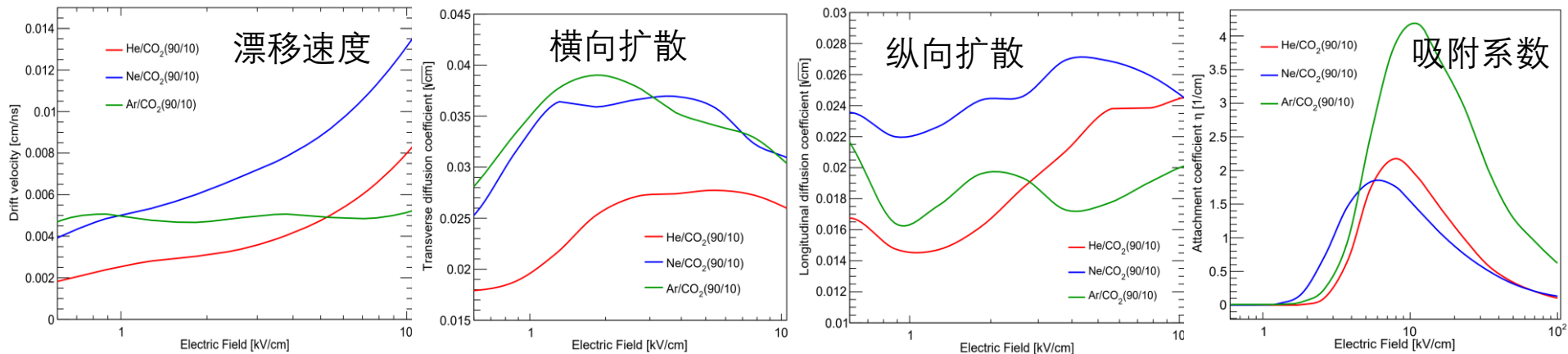


# 工作气体

排除易老化的氢类、氟类气体，选用CO<sub>2</sub>作为淬灭气体。

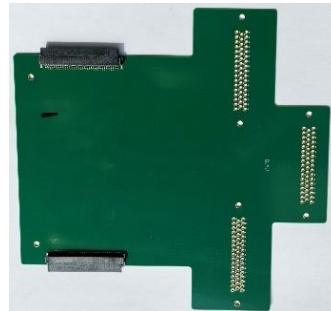
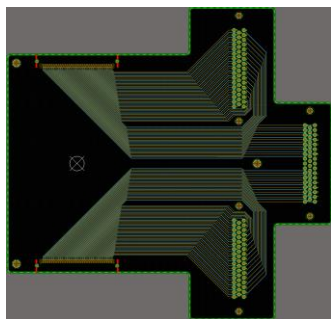
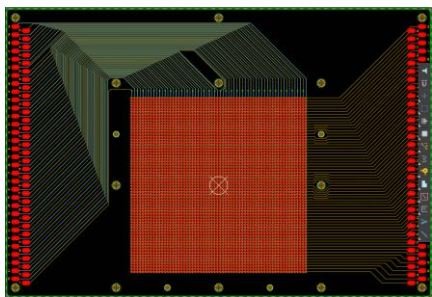
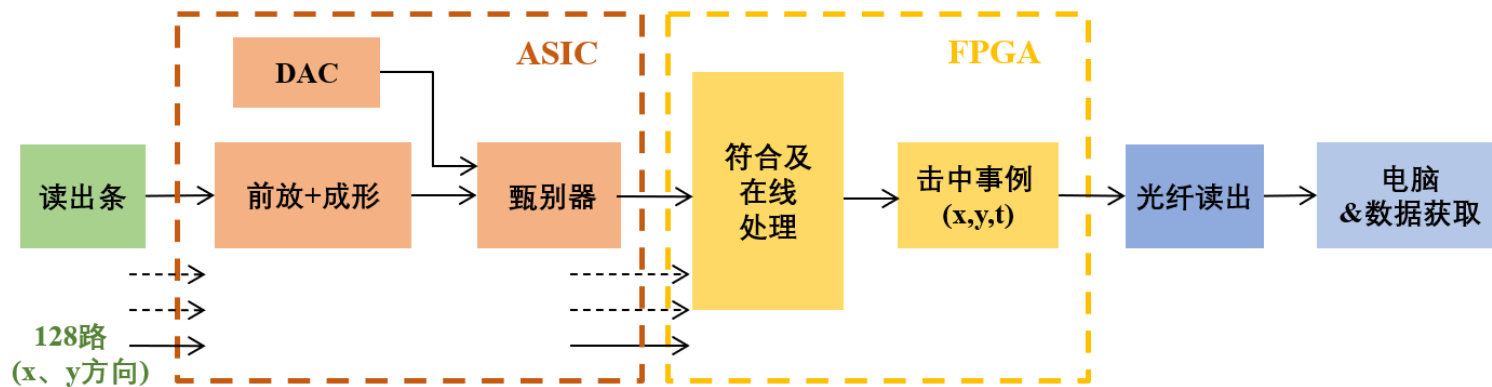


在Ne/CO<sub>2</sub>(90/10)中，陶瓷GEM可以在更低的工作电压下获得相同的增益，探测器具有更稳定的性能。



# 快读出电子学

采用二维信号符合的方法确定中子击中的位置，包括模拟部分和数字部分。

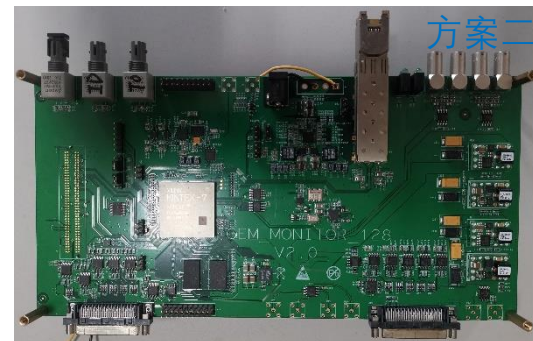


二维读出板(strip 1.56mm)

转接板



ASIC芯片(AS20)

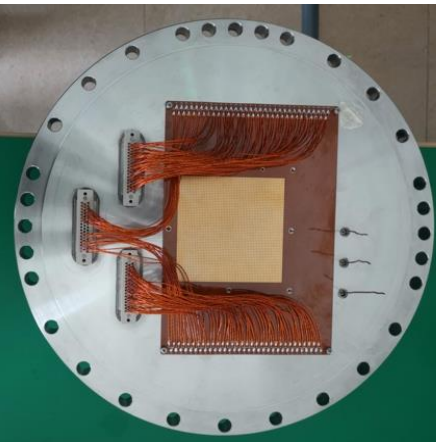


数字采集板

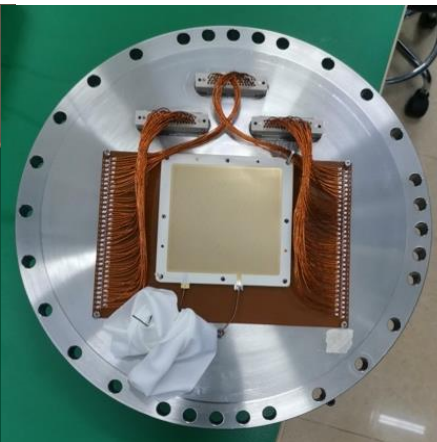
# 探测器搭建



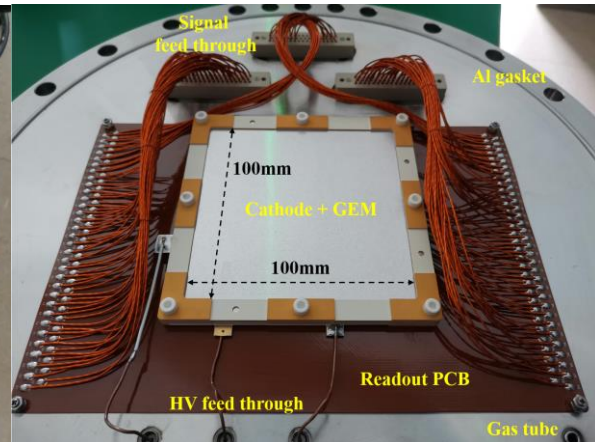
探测器法兰



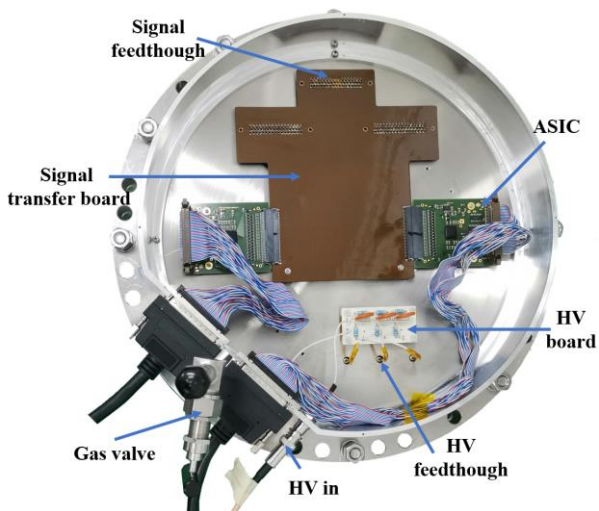
读出板焊接



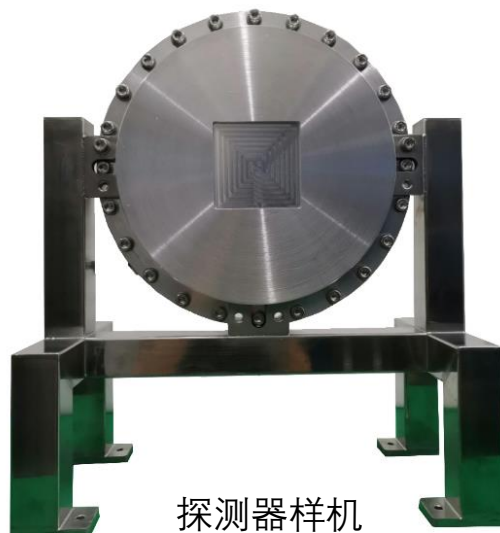
GEM膜焊接



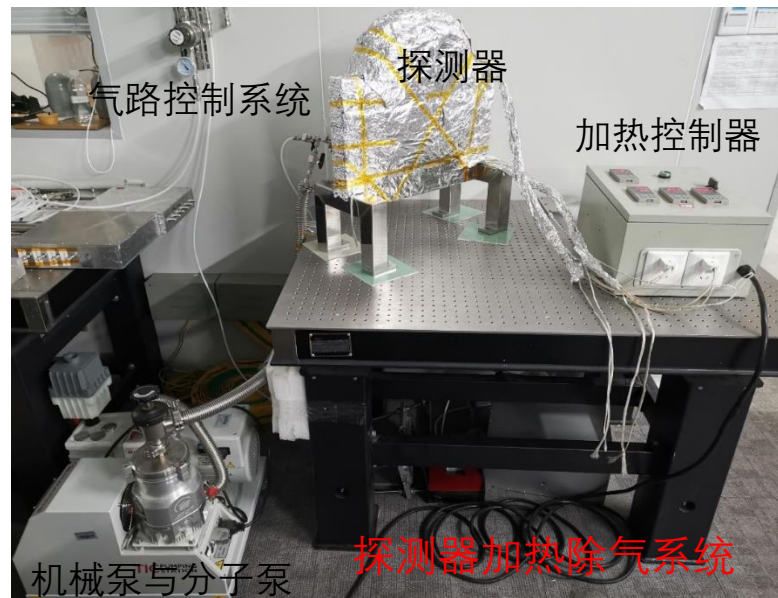
漂移极焊接



转接板、高压板、ASIC安装



探测器样机



通过加热带对探测器整体进行烘烤除气，设定80摄氏度烘烤7天，同时通过机械泵与分子泵进行抽真空，最大限度去除探测器内部残余气体。

# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

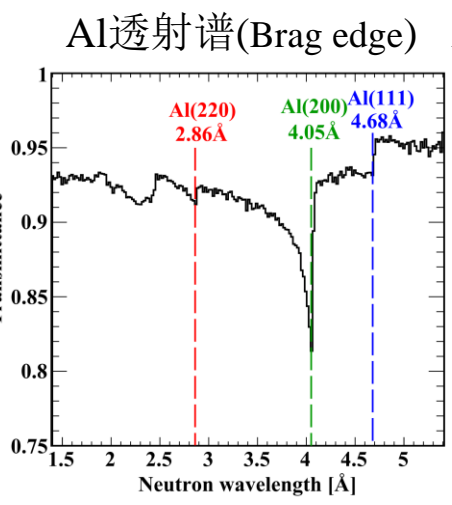
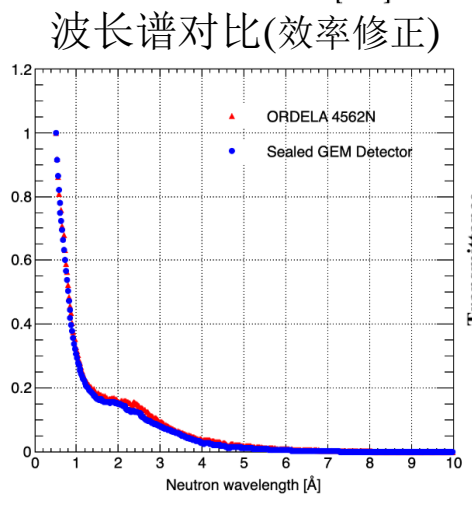
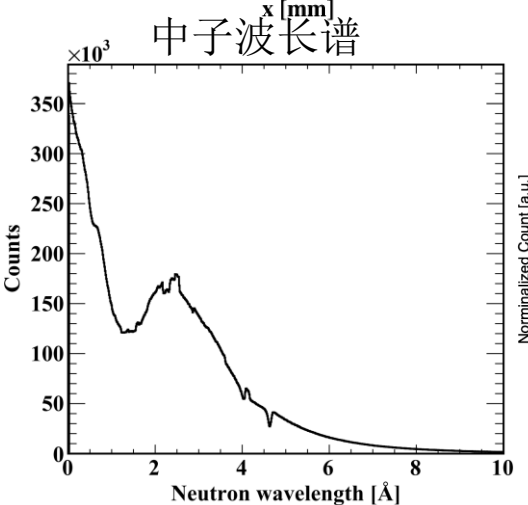
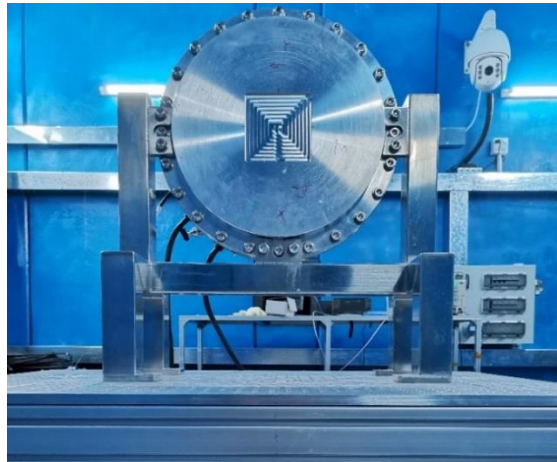
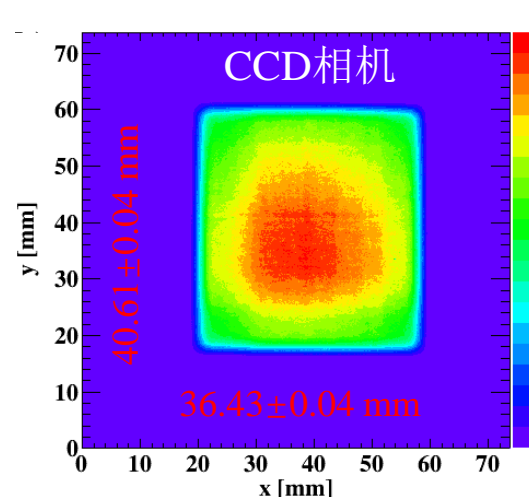
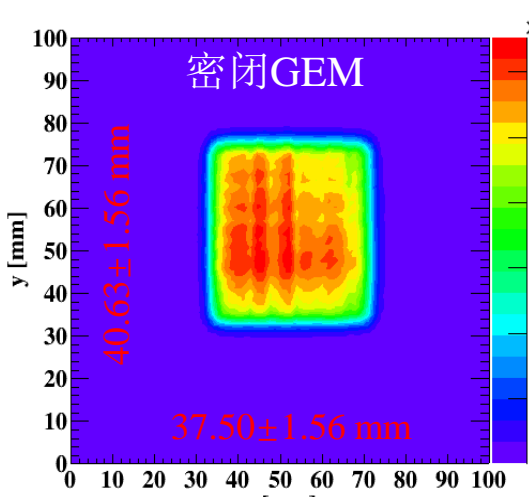
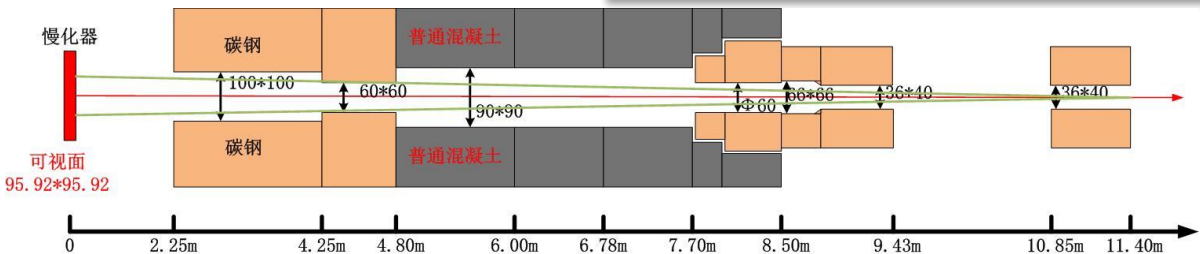
03 中子束流测试

04 稳定性测试

05 总结展望

# 中子束斑与波长谱

名称	参数
慢化器	退耦合液氢(20K)
飞行距离	11.4m~16.4m
中子孔道	36mm×40mm
T0斩波器	双阻挡块
T1斩波器带宽	4.46Å



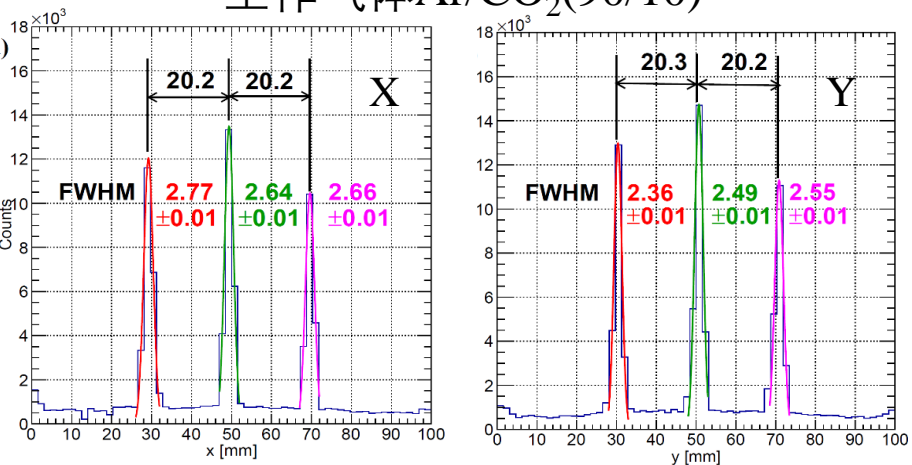
布拉格定律

$$\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 = \frac{\sin^2 \theta}{h^2 + k^2 + l^2}$$

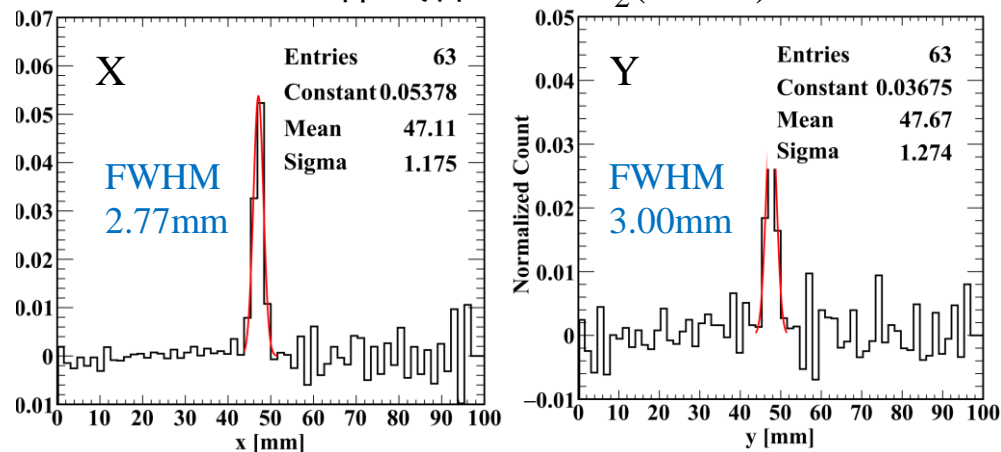
$a = 4.05\text{Å}$  (晶格常数)  
 $\theta = 90^\circ$  (Bragg edge)  
 $hkl$  密勒指数

# 中子位置分辨与成像

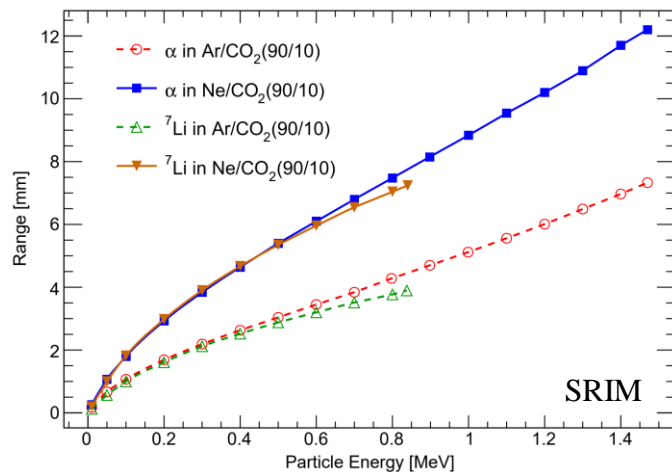
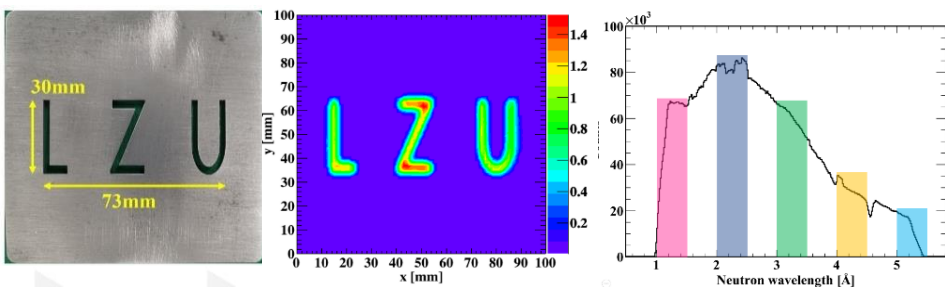
工作气体Ar/CO<sub>2</sub>(90/10)



工作气体Ne/CO<sub>2</sub>(90/10)



次级粒子( $\alpha$ /<sup>7</sup>Li)在Ar/CO<sub>2</sub>(90/10)中的射程较Ne/CO<sub>2</sub>(90/10)更短, 位置分辨更优。



探测器在XY两个方向的位置分辨均优于3mm, 且均有良好的波长/能量选择中子成像能力。

# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

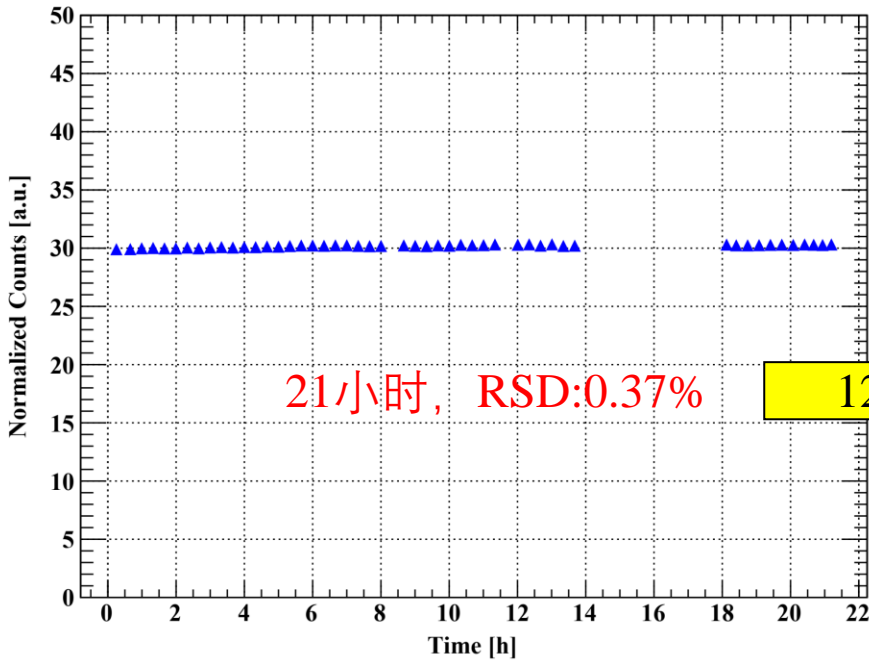
03 中子束流测试

04 稳定性测试

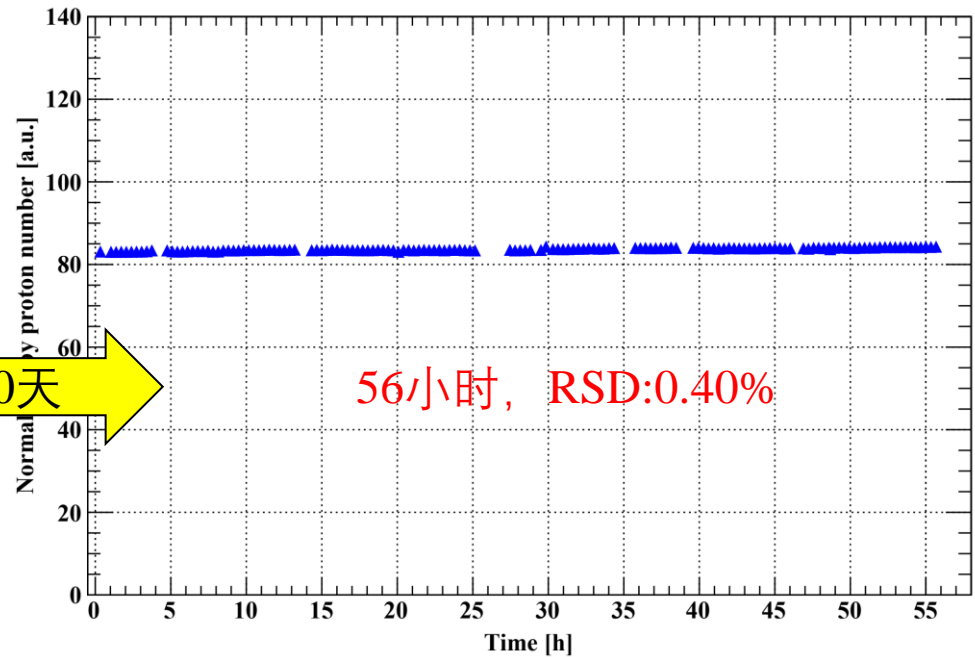
05 总结展望

# 计数率稳定性测试 (中子)

工作气体Ar/CO<sub>2</sub>(90/10)



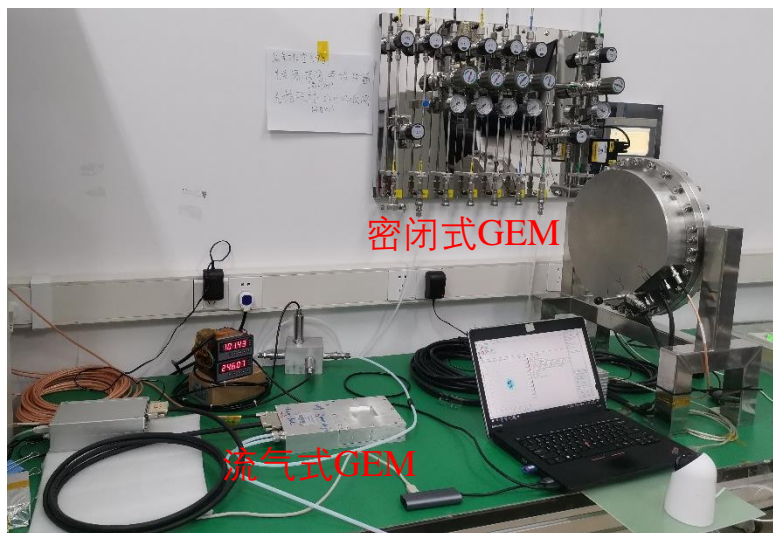
120天



密闭GEM中子探测器在两次稳定性测量中计数率均表现出很低的波动。

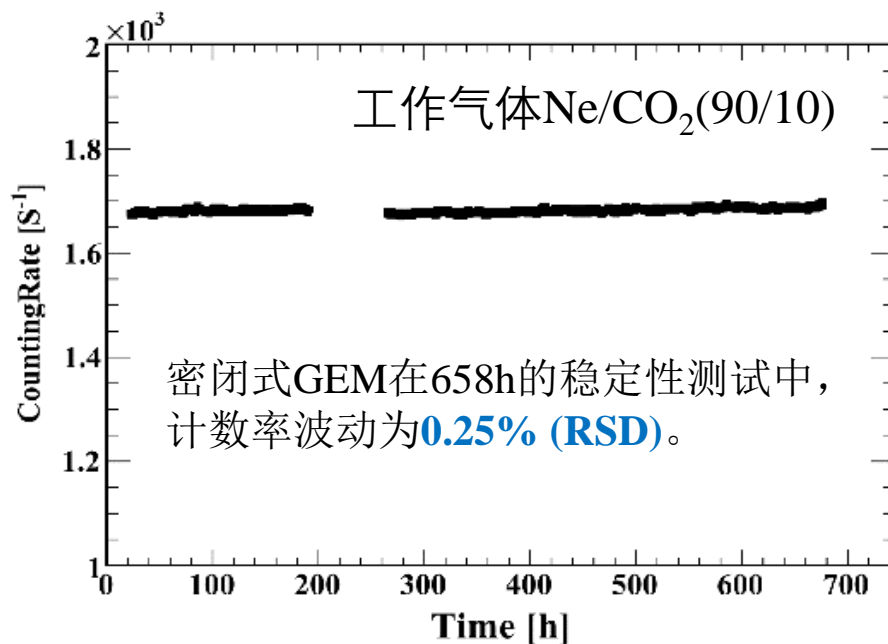
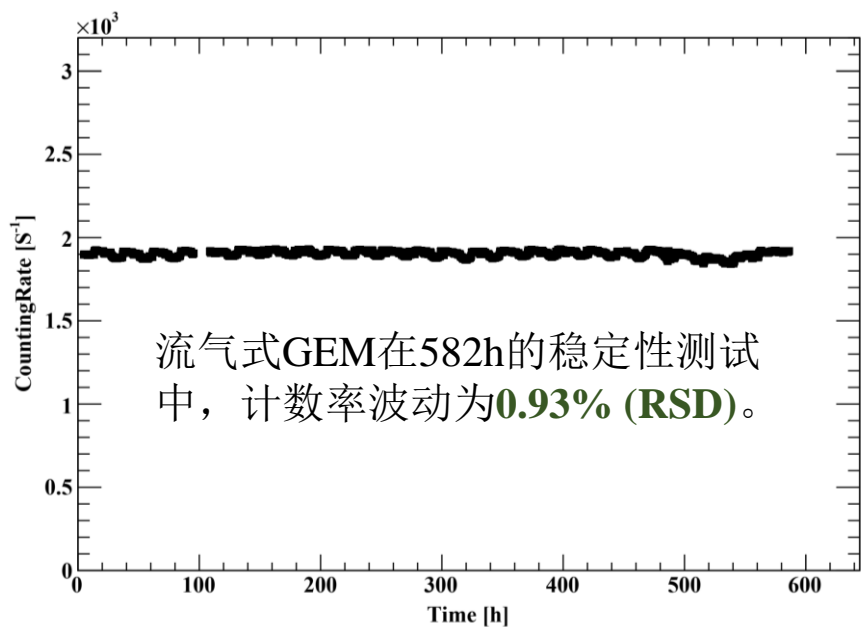


# 计数率稳定性测试 ( $^{241}\text{Am}$ )



为了评估探测器在更长时间维度上的稳定性，利用 $^{241}\text{Am}(\alpha)$ 测试，半衰期432.2年，可以认为是个稳定的放射源。

密闭式GEM探测器比流气式具有更好的计数率稳定性。



# 目录

CONTENTS



01 研究背景

02 探测器关键技术

03 中子束流测试

04 稳定性测试

05 总结展望

## 总结

针对流气式GEM中子探测器性能受环境影响及应用场景受限的情况，依托陶瓷GEM设计研制了密闭GEM中子探测器，解决了探测器所面临的关键技术，测试了探测器分别以Ar/CO<sub>2</sub>(90/10) Ne/CO<sub>2</sub>(90/10)作为工作气体，在中子束流下的性能表现，测试探测器在中子、<sup>241</sup>Am( $\alpha$ )下的计数率长期稳定性，可以满足高通量中子源中子散射中子成像对探测器的需求。

## 展望

- 优化探测器，进一步提高探测器使用寿命。
- 探测器小型化、多样化，面向工程应用推广。
- 研制高压GEM中子探测器，提高探测器性能。



蘭州大學



中國科學院高能物理研究所  
Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences

THANKS FOR YOUR ATTENTION

---