



2025年超级陶浆装置研讨会

微结构气体探测器的研究动态与应用

张志永

中国科学技术大学
湘潭, 2025-07-05



报告提纲

01

微结构气体探测器 (MPGD)

02

中科大MPGD研究与应用

03

总结与展望



微结构气体探测器 (MPGD)

01 气体探测器原理

02 气体探测器发展历程

03 核与粒子物理实验需求

04 辐射探测与成像应用

05 MPGD发展新动态

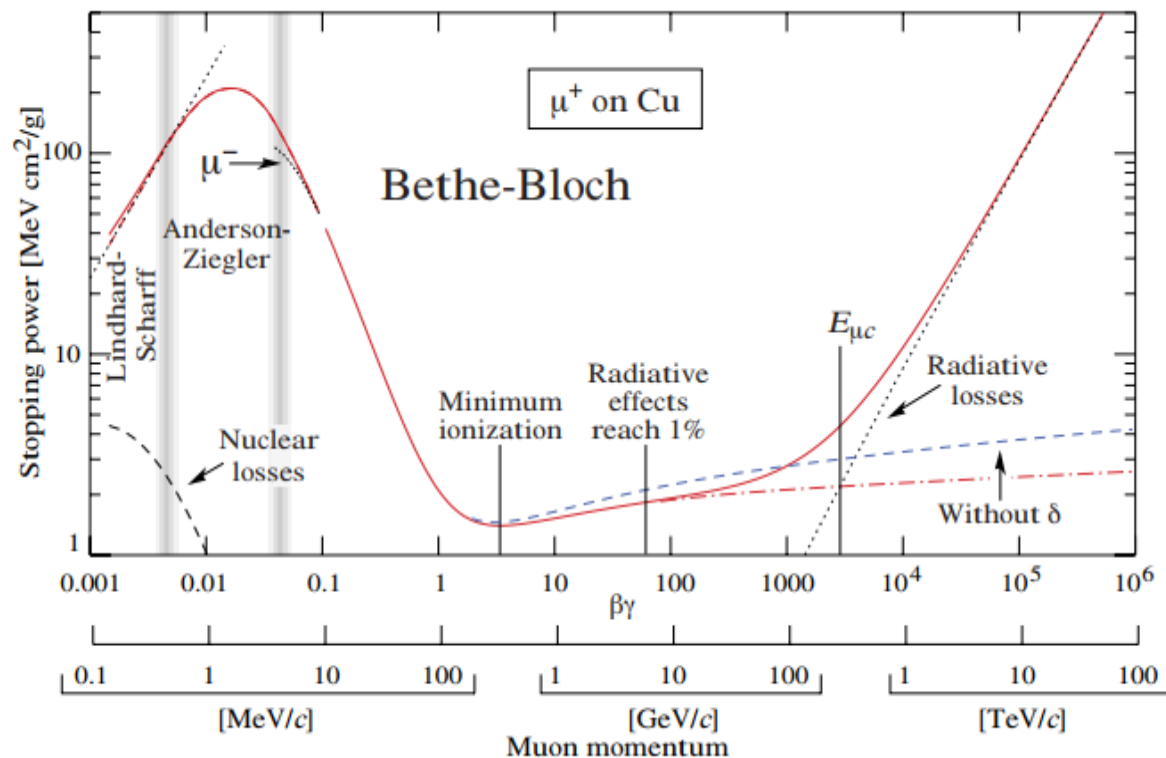
气体探测器原理

带电粒子的能量损失

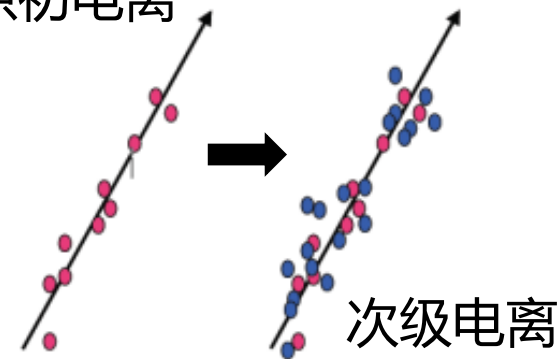
可用Bethe-Bloch公式近似：

正比于 Z^2

$$\frac{dE}{dx} = K Z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right]$$

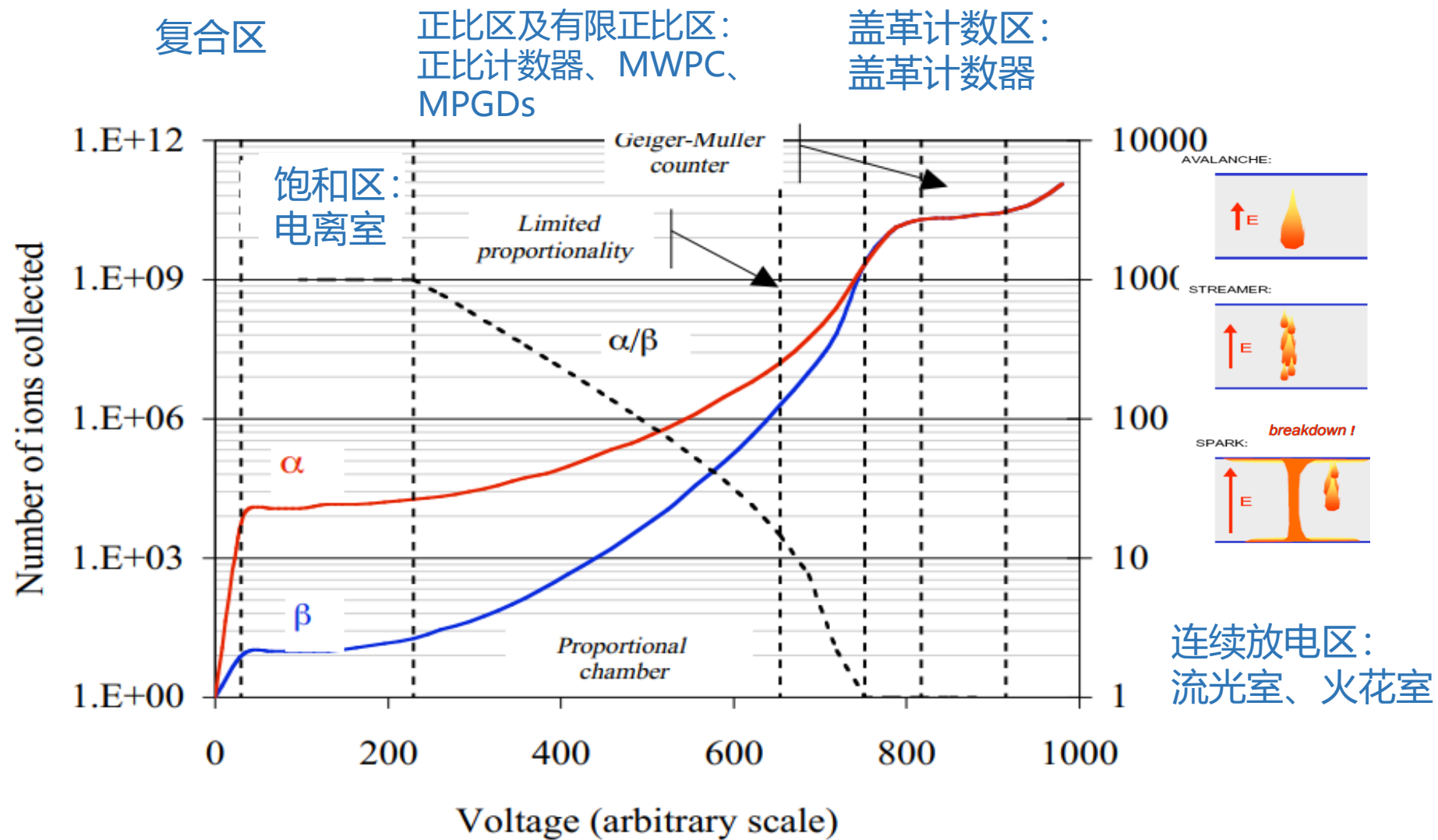


原初电离



总电离= 3~4原初电离，典型
值约每厘米100 e/ion对。

气体探测器原理





微结构气体探测器 (MPGD)

- 01 气体探测器原理
- 02 气体探测器发展历程
- 03 核与粒子物理实验需求
- 04 辐射探测与成像应用
- 05 MPGD发展新动态

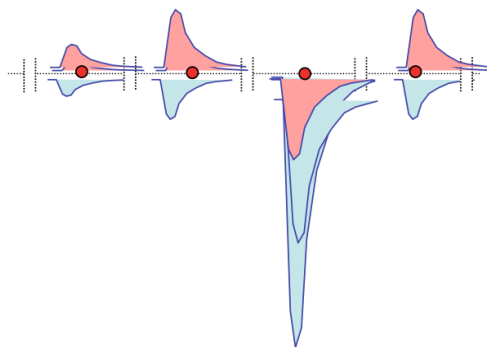
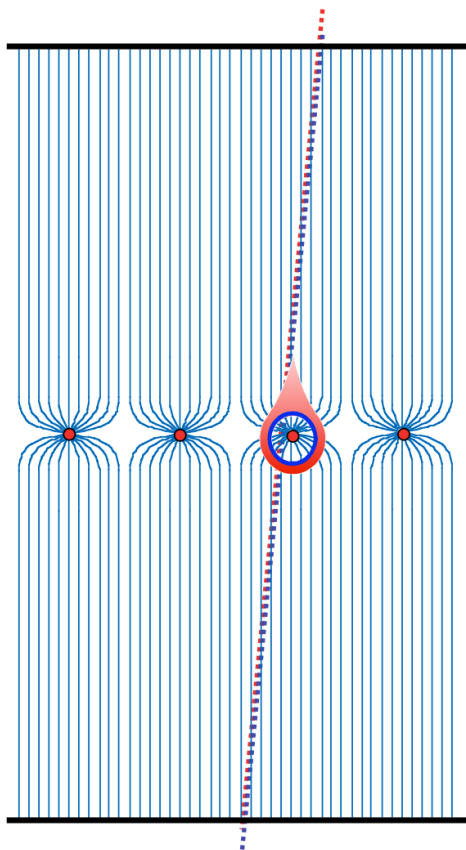
气体探测器发展历程

静电计、电离室到正比计数器	
➤ 1897-1908 The Curies 发现镭和钋	1903年诺贝尔物理学奖
➤ 1898 Rutherford 发现 α 和 β 射线	1908年诺贝尔化学奖
➤ 1908 Rutherford & Geiger 发明正比计数器	
➤ 1897 Joseph John Thomson发现电子	1906年诺贝尔物理学奖
1927 C.T.R. Wilson发明云室	1927年诺贝尔物理学奖
➤ 1932 Anderson利用云室发现正电子, μ 子	1936年诺贝尔物理学奖
➤ 1948 P. M. S. Blackett 改进云室相关技术、宇宙线研究	1948年诺贝尔物理学奖
1952 D. Glaser发明气泡室	1960年诺贝尔物理学奖
➤ 1968 L.W. Alvarez发明氢气气泡室及数据处理	1968年诺贝尔物理学奖
➤ 1973 发现 Ω^- , 中性流等-弱点统一理论验证	1979年诺贝尔物理学奖
1968 G. Charpak发明多丝正比室	1992年诺贝尔物理学奖
➤ 1983 发现了中间玻色子 $W^\pm$ 和 Z_0	1984年诺贝尔物理学奖
➤ 2012 希格斯玻色子的发现	2013年诺贝尔物理学奖

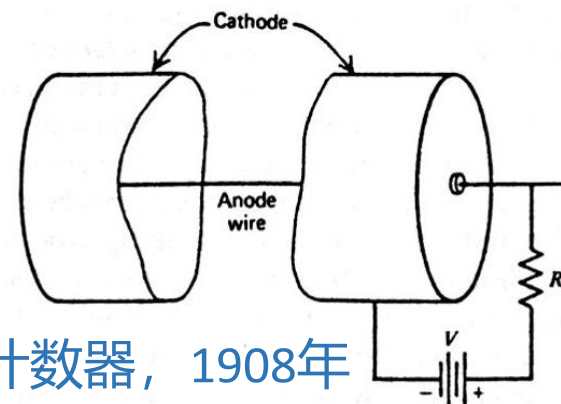
多丝正比室是气体探测器发展的里程碑：实时测量粒子径迹，开启了大科学实验的大门！

气体探测器发展历程

多丝正比室



- 多个并排的正比计数器
- 正离子在相邻条上感应的正信号 > 电容耦合串扰的负信号：负信号灵敏的电子学实现定位
- 阴极可以是平板也可以是丝



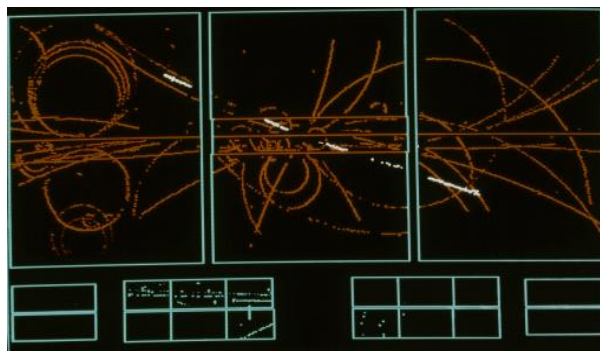
正比计数器，1908年

G. Charpak et al., The use of multiwire proportional counters to select and localize charged particles, NIM, 62 (1968) 262-268.

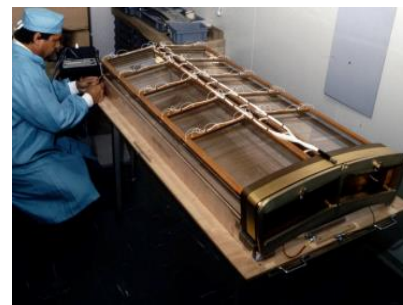
气体探测器发展历程

多丝正比室的应用

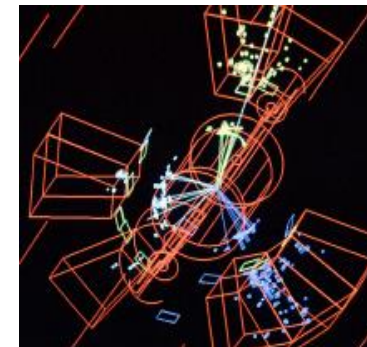
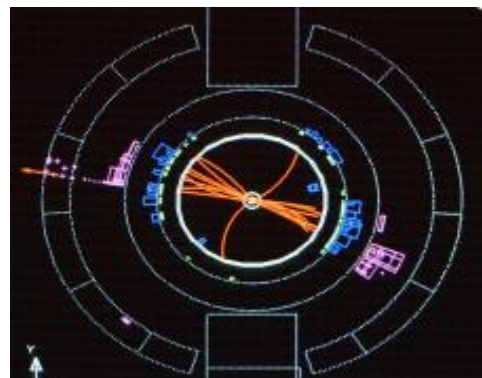
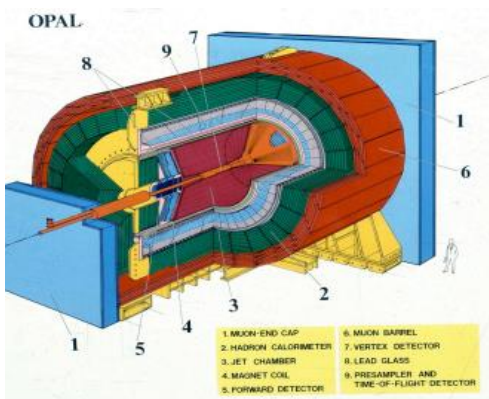
UA1, 中心径迹探测器, Discovery of W and Z



DELPHI 桶部RICH探测器



L3缪子探测器



还远不止这些...

好用不贵, 居家必备

气体探测器发展历程

随着对撞机实验能量和亮度不断提升：

多丝正比室
遇到了性能瓶颈



微结构气体探测器
(MPGD) 应运而生

正离子积累 → 低计数率，时间分辨差

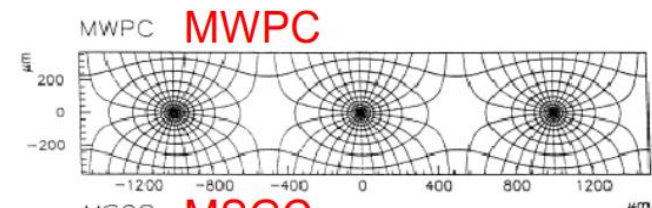
读出间距大 → 位置分辨不足

微雪崩结构 → 加速离子泄放

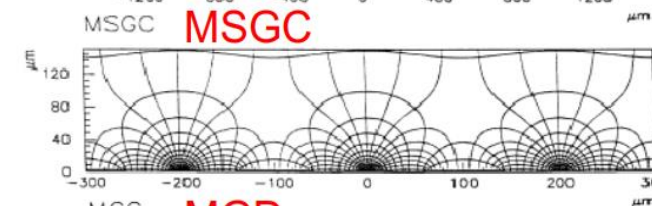
小读出间距 → 提高信号定位精度

scale factor

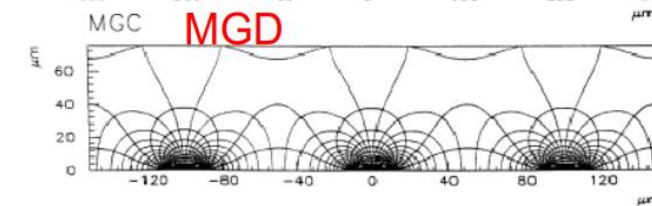
1



5



10



MPGD突出优势： ✓高计数率 ✓高位置分辨 ✓低离子反馈率 ✓大面积和低成本

在核与粒子物理实验中发挥越来越重要作用！

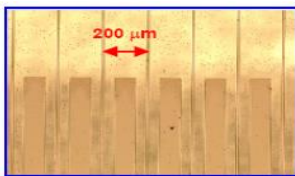
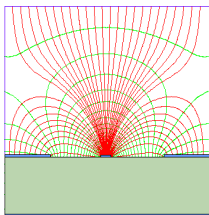
气体探测器发展历程

MPGD典型代表

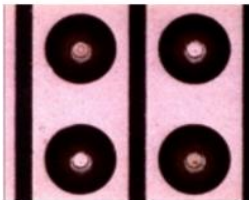
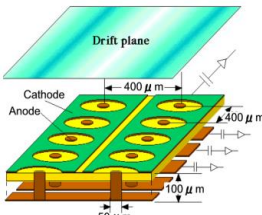


A. Oed
MSGC, 1988

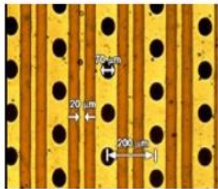
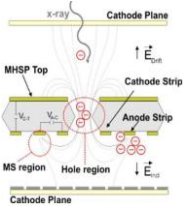
微条



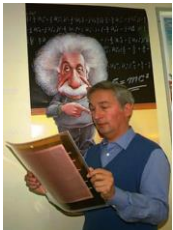
MSGC



microPIC

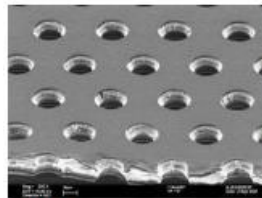
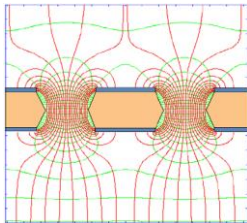


MHSP

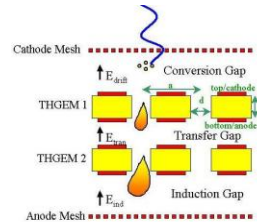


F. Sauli
GEM, 1997

微孔



GEM



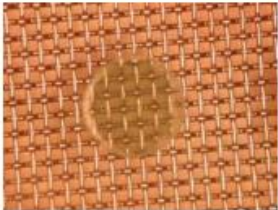
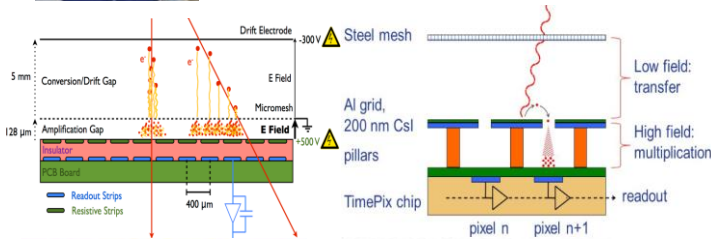
THGEM

微点、孔-条、微井、微槽

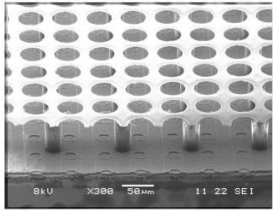


Y. Giomataris
Micromegas, 1996

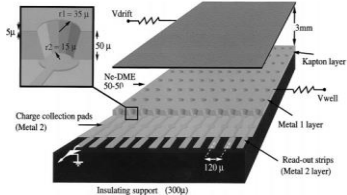
微网



Micromegas

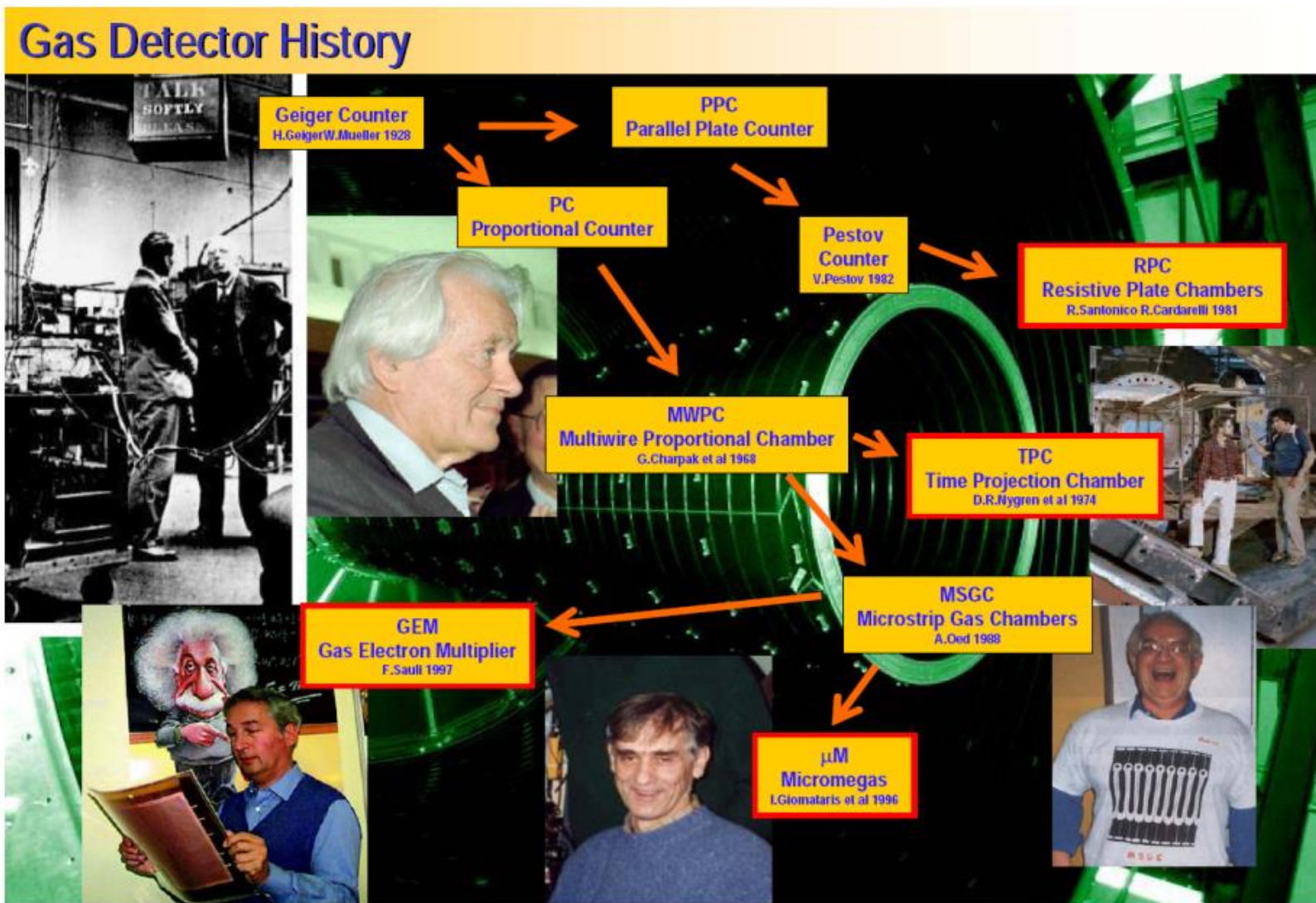


Ingrid



WELL

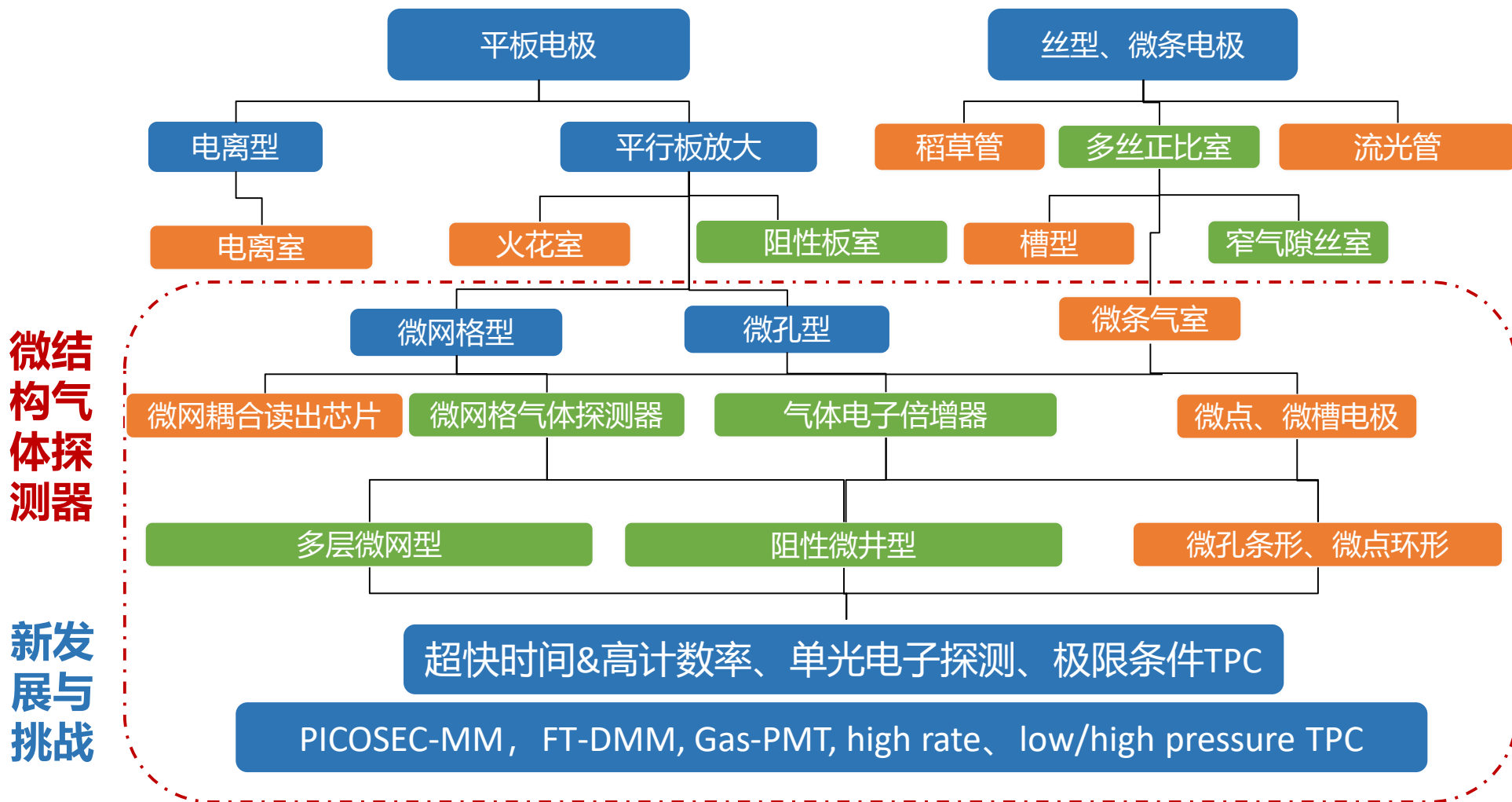
气体探测器发展历程



M. Hoch, 2004 Wire Chamber Conference

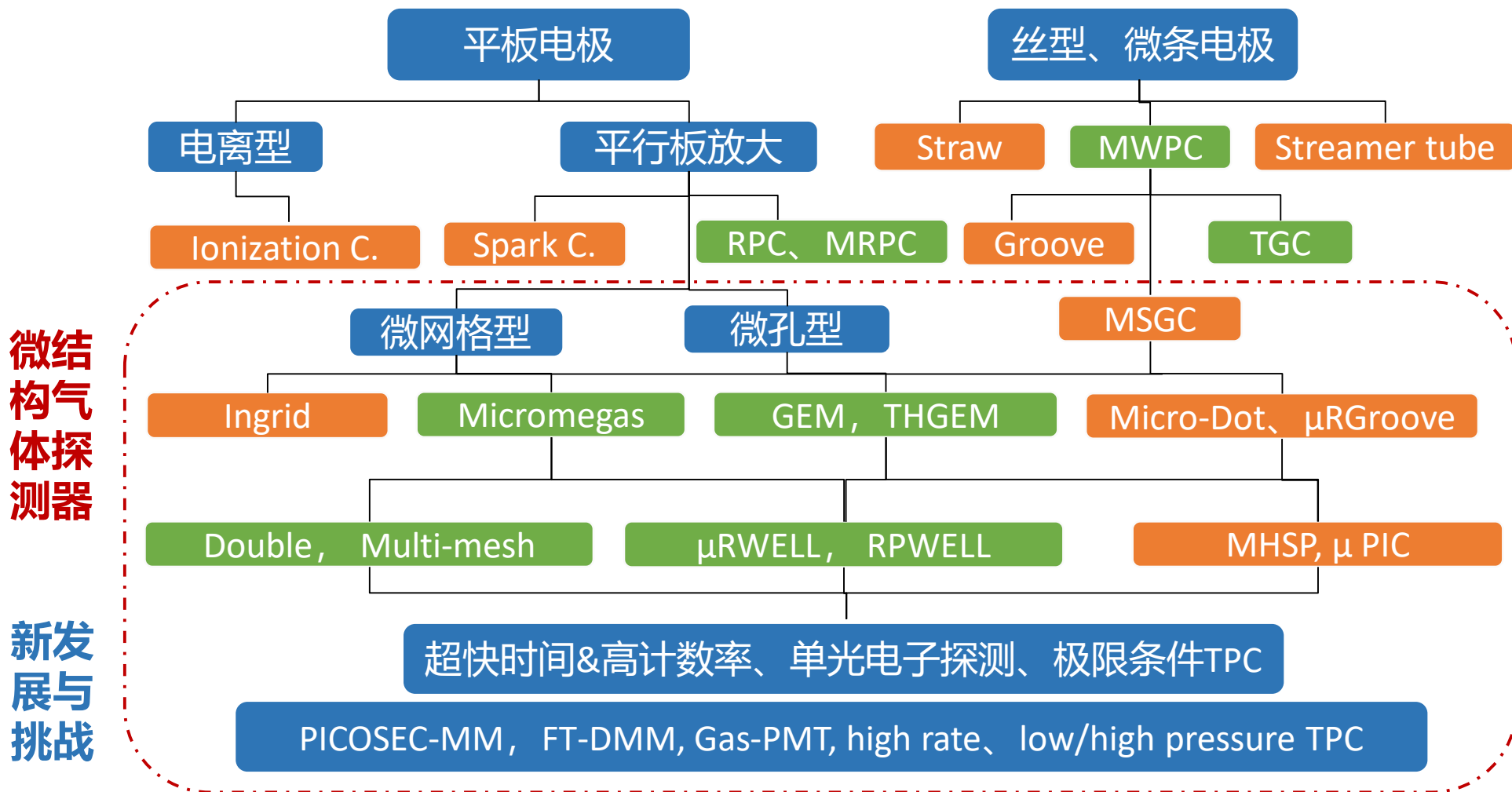
气体探测器发展历程

气体探测器结构类型



气体探测器发展历程

气体探测器结构类型





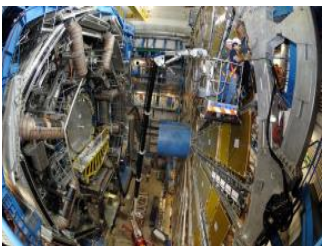
微结构气体探测器 (MPGD)

- 01 气体探测器原理
- 02 气体探测器发展历程
- 03 核与粒子物理实验需求
- 04 辐射探测与成像应用
- 05 MPGD发展新动态

核与粒子物理实验需求

大科学装置升级和新一代对撞机实验预研

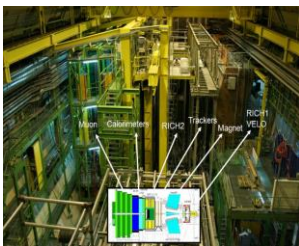
ATLAS



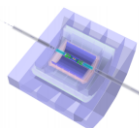
ALICE



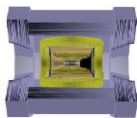
LHCb



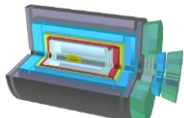
CMS



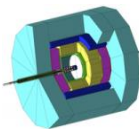
CEPC



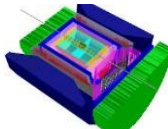
STCF



EicC



ILC



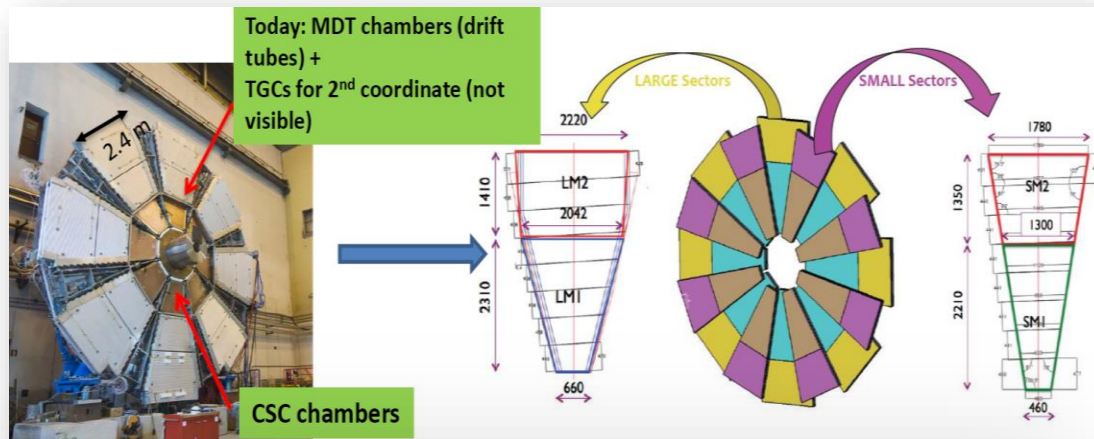
EIC

	顶点探测器	内径迹	缪子径迹	缪子触发
ATLAS	GOSSIP/ InGrid		1200 m ² MM	
ALICE		TPC (130 m ² GEM)		
LHCb				GEM
CMS			1000 m ² GEM	

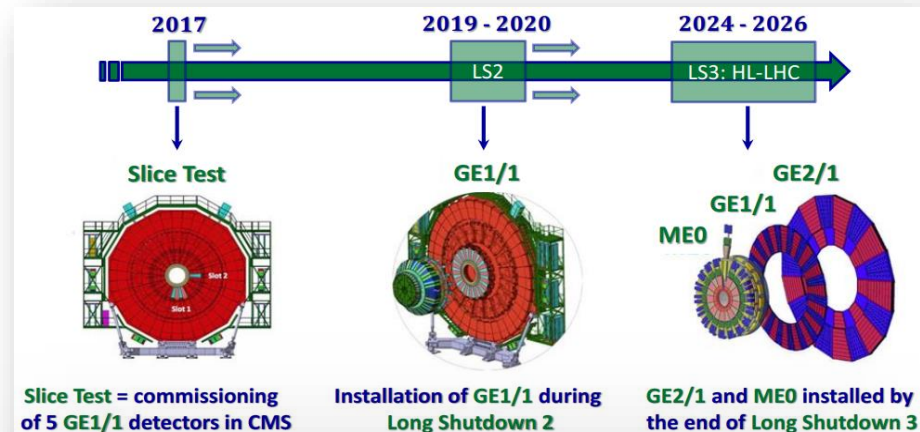
	内径迹	粒子鉴别	强子量能器
ILC	TPC(MM,GEM, InGrid)		DHCAL (MM,GEM, THGEM)
CEPC	TPC(GEM,MM)		DHCAL (GEM, THGEM,RPWELL)
STCF	C-μRWELL	RICH(THGEM, MM,DMM)	

核与粒子物理实验需求

共性需求1：大面积高分辨缪子探测器 (CMS、ATLAS)



ATLAS 缪子谱仪：总面积1280 m²
计数率 600 -15k Hz/cm²，位置分辨 ~100 μm，
探测效率>95%



CMS端盖缪子谱仪：面积350 m²
~50 kHz/cm² (ME0) 单探测器尺寸达
~0.3 m²，增益 2×10^4

高位置分辨: ~100 μm

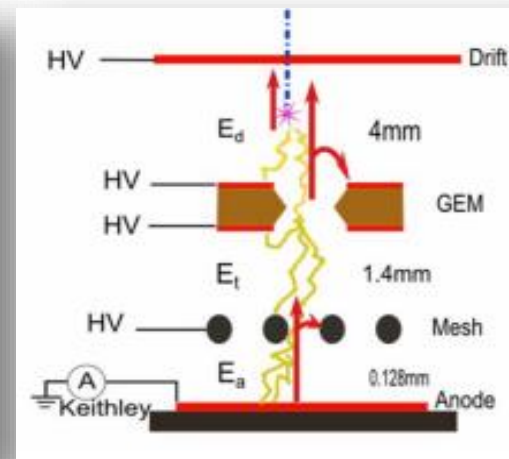
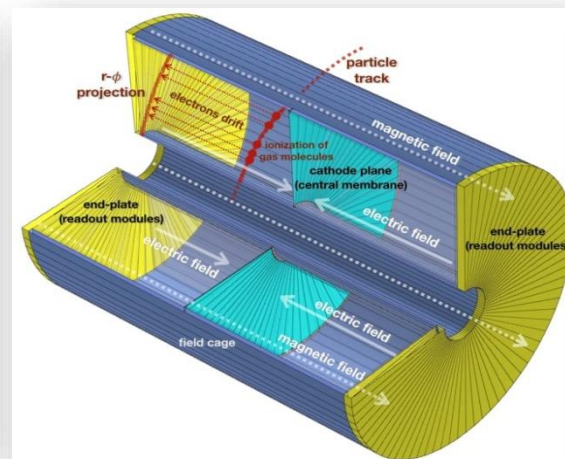
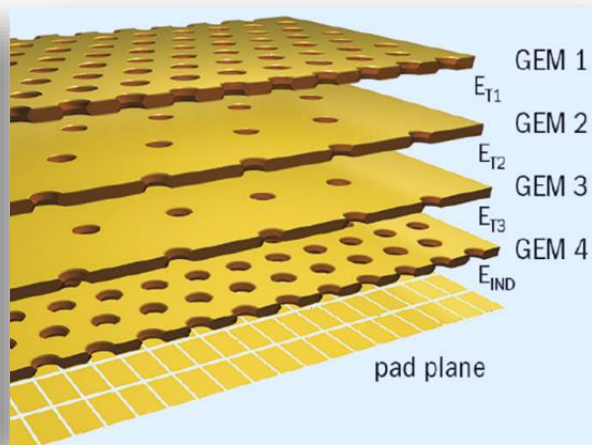
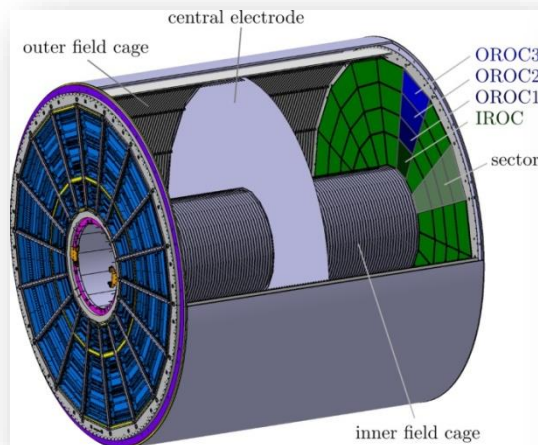
高探测效率(MIPs): >95%

大灵敏面积: ~m² 量级

高计数率: kHz-100 kHz/cm²

核与粒子物理实验需求

共性需求2：基于高计数率TPC的径迹探测器（ALICE、CEPC）



采用四层GEM方案

ALICE-TPC需求：<1% IBF @2000 增益

采用GEM+Micromegas方案

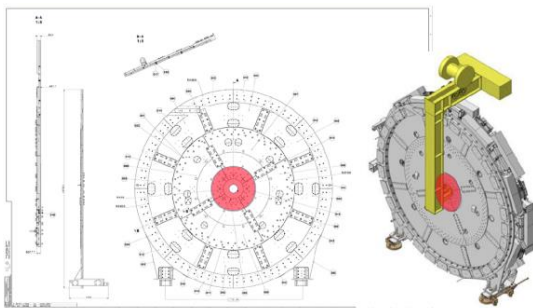
CEPC-TPC需求：<0.1% IBF @2000 增益

离子反馈率: ~1% - 0.1%

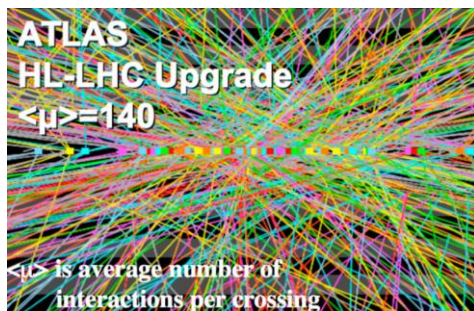
核与粒子物理实验需求

极端实验条件

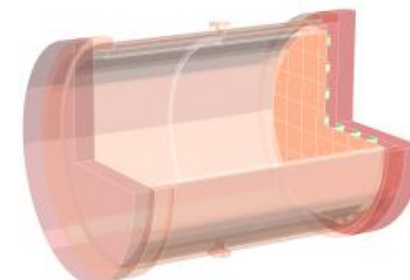
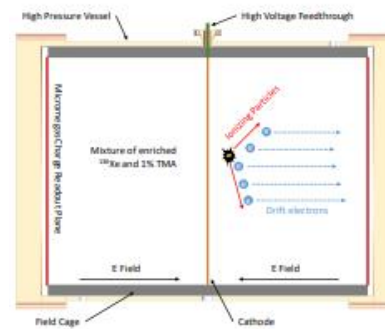
ATLAS Phase-II升级中
High- η tagger区域径迹测量
距离束流管只有25cm, 高达**10MHz/cm²**极端计数率



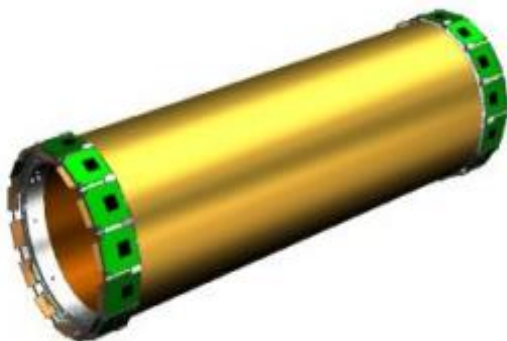
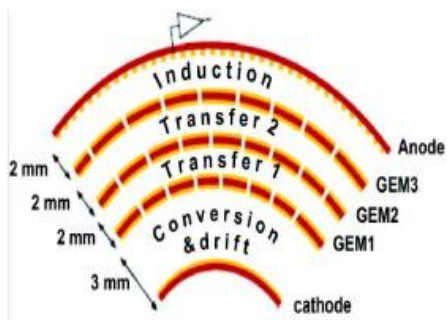
高亮度LHC升级中
高计数率下达到**30皮秒**分辨,
以应对超高的事例多重数



PandaX-III 读出高压**低本底**TPC
10barXe测量双贝塔衰变电子, 排除本底

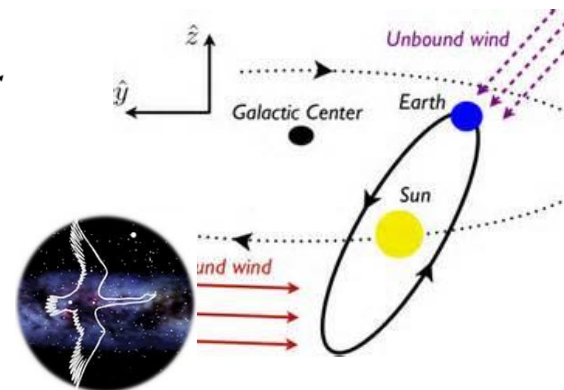
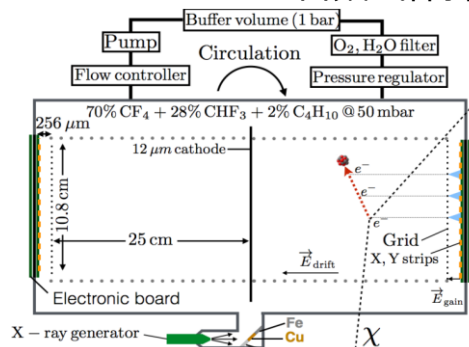


BES-III内径迹探测器
低物质量、圆筒形GEM



MIMAC 低气压**低本底**TPC

50mbar含氟气体探测暗物质方向性反冲核方向

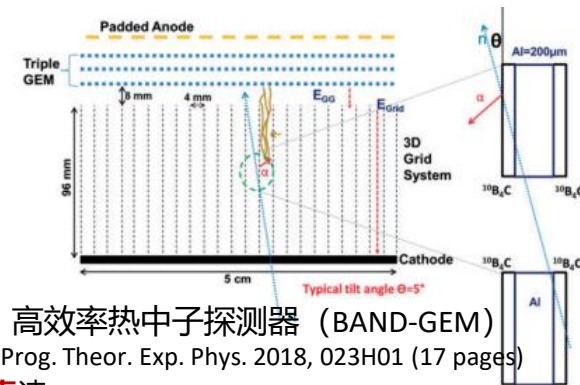
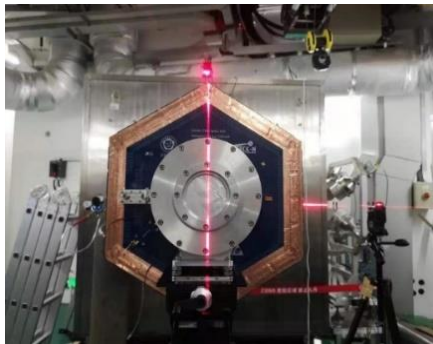


Y.Tao et al, NIMA Available
online 4 May 2021, 165412

核与粒子物理实验需求

新型技术研究

成像型中子探测

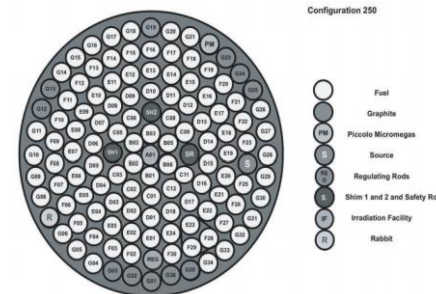
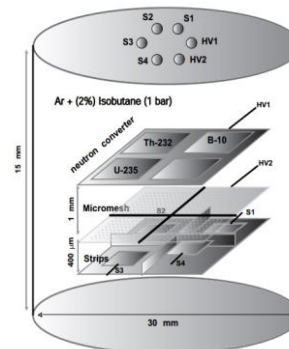


高效率热中子探测器 (BAND-GEM)
Prog. Theor. Exp. Phys. 2018, 023H01 (17 pages)

CSNS-Back-n 中子MTPC高颗粒度像素读
出TPC测量中子反应核数据

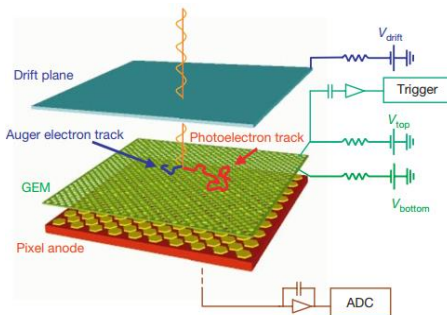
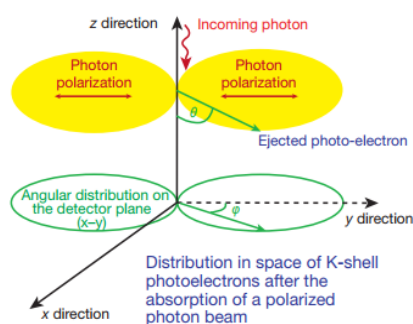
基于Micromegas的中子探测

高辐照背景下宽中子能段,用于ADS堆芯内部中子测量



中低能X射线偏振测量

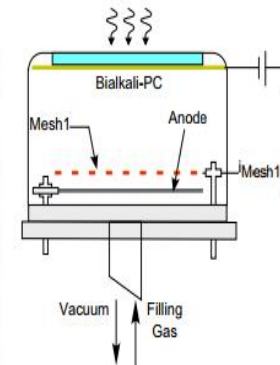
X射线偏振测量的唯一手段



Nature volume 411, pages662–665 (2001)

可见光灵敏gasPMT

单光电子测量、极低离子反馈率、无气体释放





微结构气体探测器 (MPGD)

- 01 气体探测器原理
- 02 气体探测器发展历程
- 03 核与粒子物理实验需求
- 04 辐射探测与成像应用**
- 05 MPGD发展新动态

辐射探测与成像应用

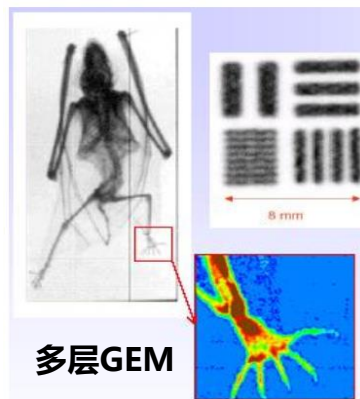
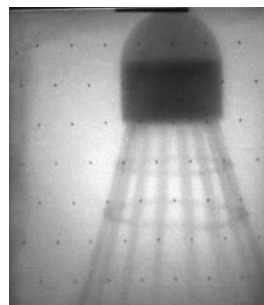
医疗成像

X射线成像

大面积高精度X-ray探测



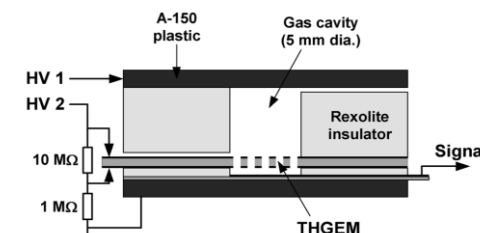
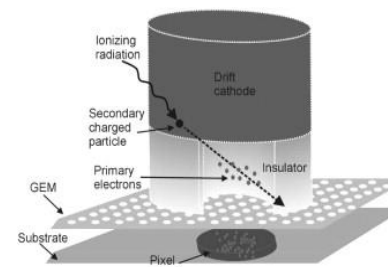
MicroMEGAS / X射线
(75KeV) 扫描图像



多层GEM

组织等效计数器用于微纳剂量学测量

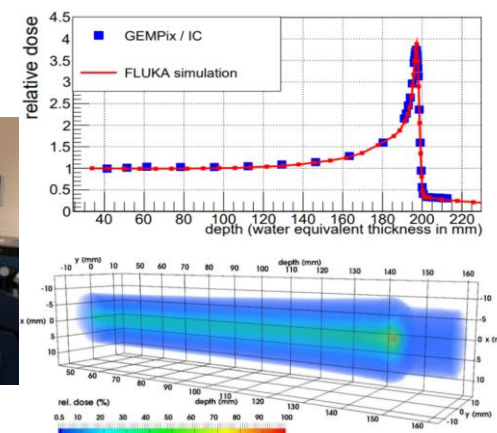
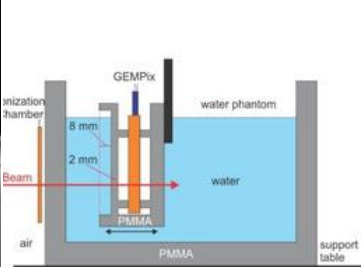
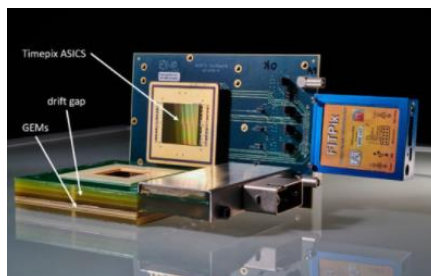
微体积、高能量线性测量



M. Farahmand et al., 2003; Soo Hyun Byun et al., 2009

高颗粒度像素读出GEMpix

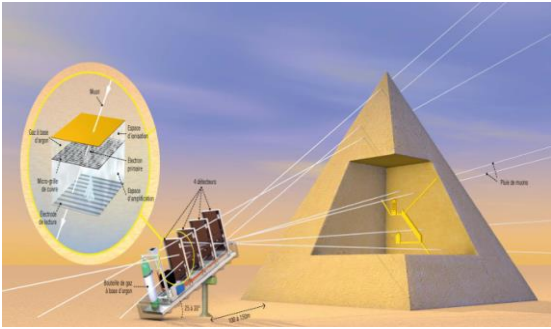
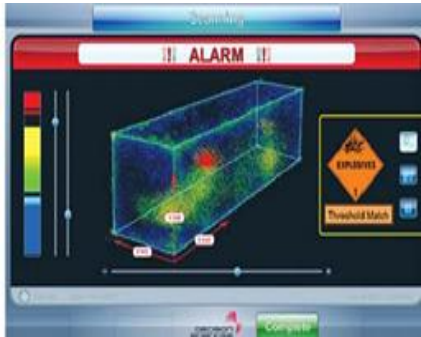
测量治疗质子束入射深度



其它工业领域

缪子成像研究

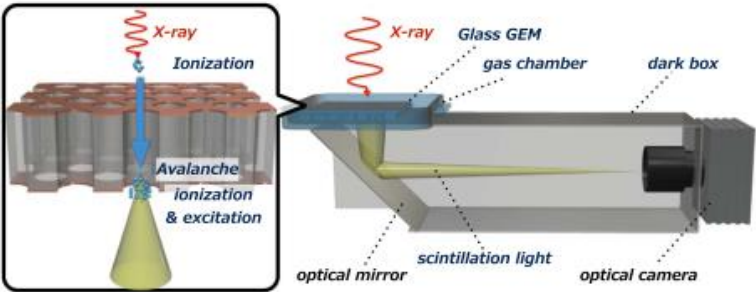
大面积径迹探测，测量散射角度和透射吸收



核电安全运行及核燃料监测、
国防装备监测、大型文化遗址无损考古、
地质灾害监测等

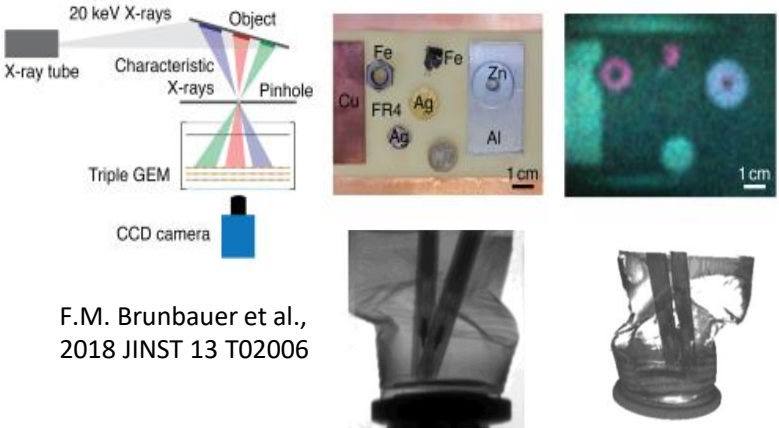
基于MPGD高流强束流监测

商用CCD相机光读出方法替代电荷读出



光读出X-ray “彩色” 和3D成像

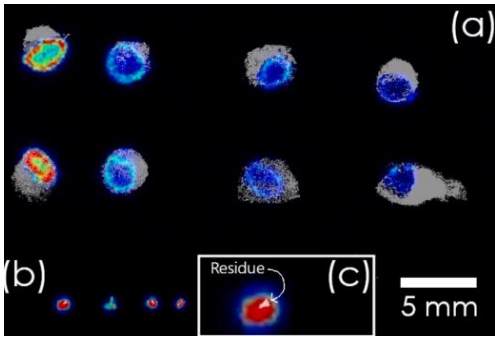
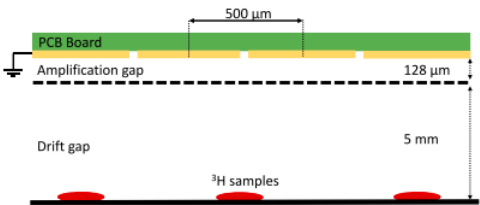
材料特征X-ray高分辨测量



F.M. Brunbauer et al.,
2018 JINST 13 T02006

基于MM的痕量放射性活度测量

3D径迹+能量多维信息测量

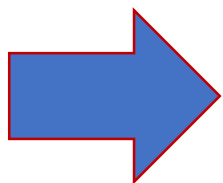




微结构气体探测器 (MPGD)

- 01 气体探测器原理
- 02 气体探测器发展历程
- 03 核与粒子物理实验需求
- 04 辐射探测与成像应用
- 05 **MPGD发展新动态**

- ◆ **平米量级、100微米分辨**、 100k-MHz/cm^2 等“不算苛刻”的性能需求，在大工程建设中仍然具有挑战！
- ◆ 极端条件下高性能需求
 - **低本底、高低气压**：稀有事例搜寻，如PandaX-III、MIMAC
 - **极低离子反馈**：高计数率TPC，如ALICE-TPC、CEPC-TPC
 - **10 MHz/cm^2 计数率，亚100皮秒**快速定时：高亮度LHC升级，如ATALS 二期 High- η tagger
 - **低质量、非平面构型**：如BESIII 内径迹，STCF/SCTF/EIC 内径迹等
- ◆ 复杂多样的应用场景
 - 生物医疗、核工业技术、军工国防等



- ◆ 推动MPGD不断发展
 - **新原理和新构型**
 - **先进工艺和方法**

MPGD发展新动态

1

- 紧凑型结构: μ RWELL、 μ RGroove

2

- 低离子反馈: Q-GEM、GEM+MM、MHSP、DMM、TMM

3

- 快时间测量: PICOSEC-MM、FT-DMM

4

- 新型光读出: GEM/MM+CCD/CMOS

紧凑型结构: μ RWELL, μ RGroove

◆ 井型概念很早就已出现

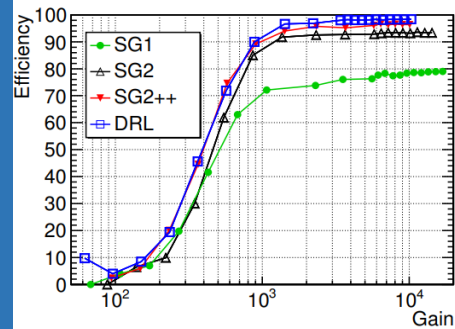
catWELL: F. Bartol et al., 1996

WELL, R. Bellazzini et al., 1999

◆ 得益于阻性电极(DLC)发展

RPWELL, A. Rubin et al., 2013

μ RWELL, G. Bencivenni et al., 2015



单级替代多级 (Vs GEM, THGEM)

取消电极张力 (Vs MM)

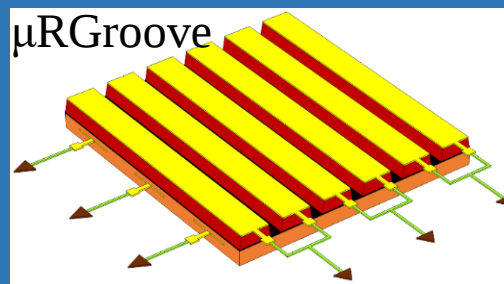
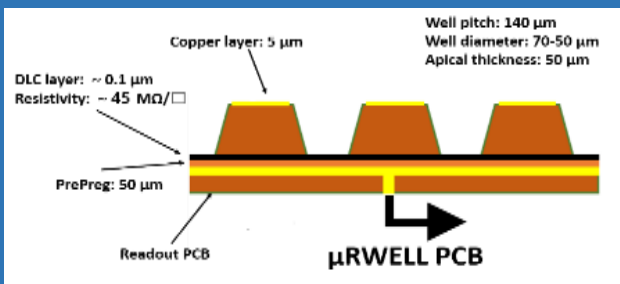
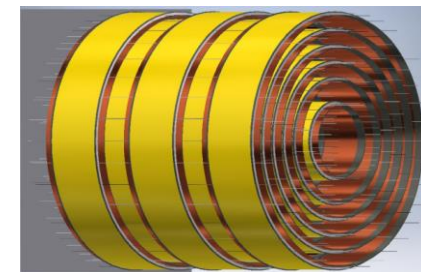
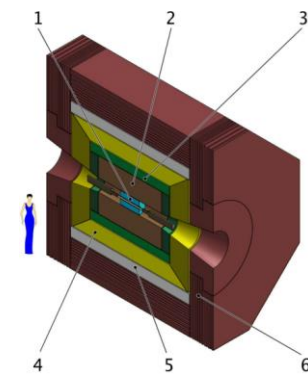
→ 结构紧凑、易于大面积制作

→ 可刚可柔、低物质量、特殊形状

Cylindrical μ RWELL/ μ RGroove

- 下一代陶粲工厂 (中国 STCF 和俄罗斯 SCTF) 内径迹的共同选择

- EIC 桶部 Tracker 概念设计方案

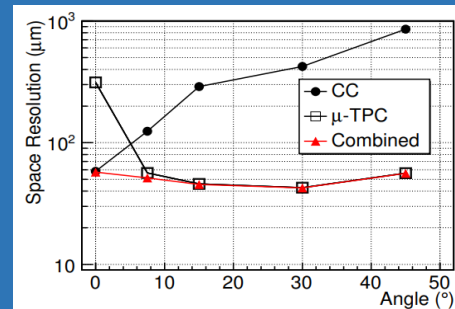


近年来快速发展:
98%探测效率, $>10 \text{ MHz}/\text{cm}^2$
计数率, $<50 \mu\text{m}$ 位置分辨

Y. Zhou, et al., NIM-A, 927(2019) 31-36

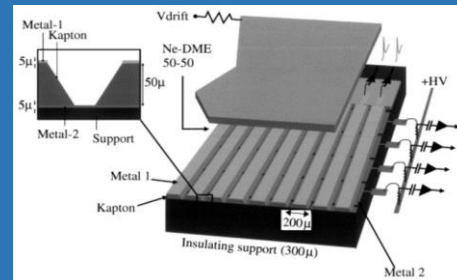
G. Bencivenni et al 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1498 012003

X.Q. Tian et al., 2024 JINST 19 P07031



紧凑型结构: μ Groove, TIP-HOLE

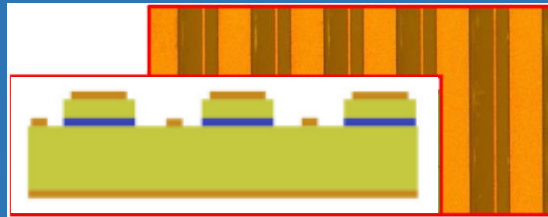
基于PCB工艺的槽型探测器



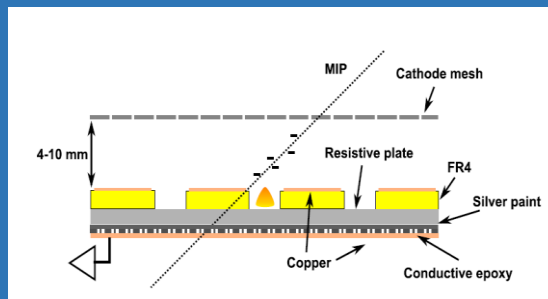
micro-groove概念

The micro-groove detector,
R. Bellazzini et al., 1999
WELL 也是这个人

给groove加上阻性层

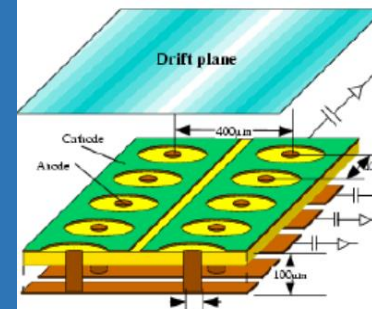


https://twiki.cern.ch/twiki/pub/Main/ThickGroove/Proceeding_Elba_15.pdf
把MSGC的微条放“坑”里

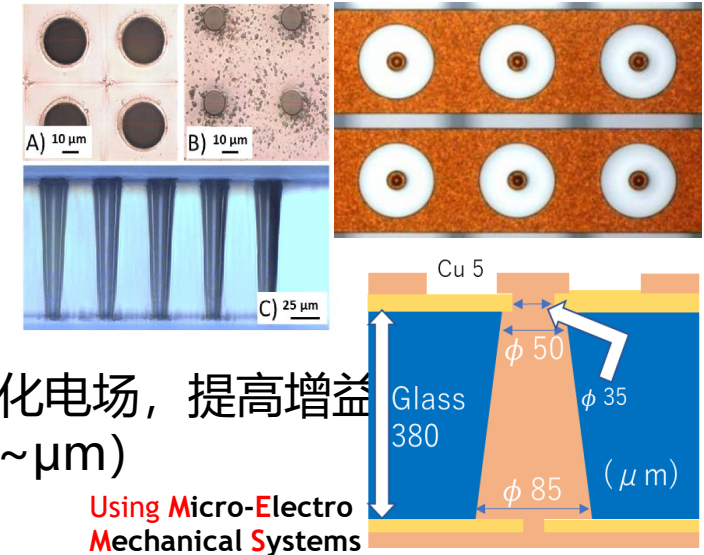


μ -PIC新工艺

常规PCB



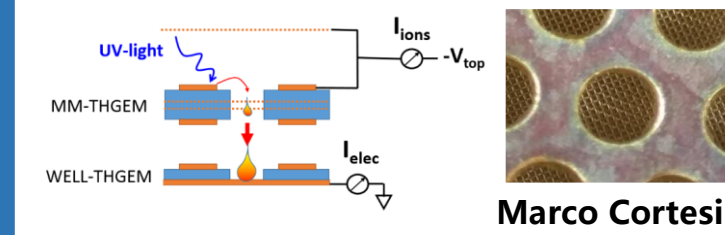
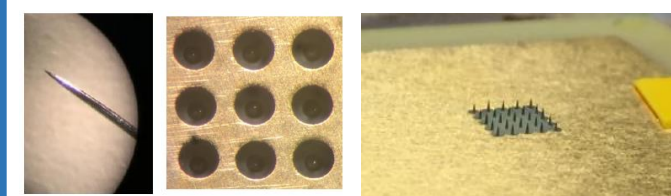
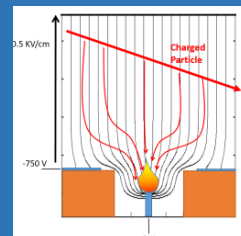
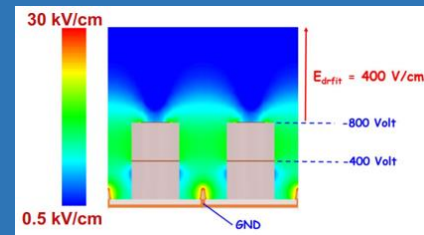
TGV (Through Glass Via)



- 高厚孔比: 优化电场, 提高增益
- 高刻蚀精度 ($\sim \mu\text{m}$)
- 无气体释放

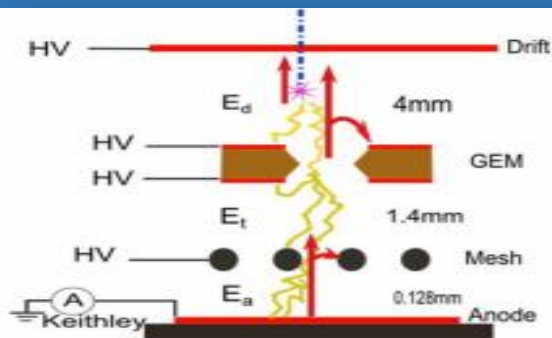
Using Micro-Electro
Mechanical Systems

First TIP-HOLE detector



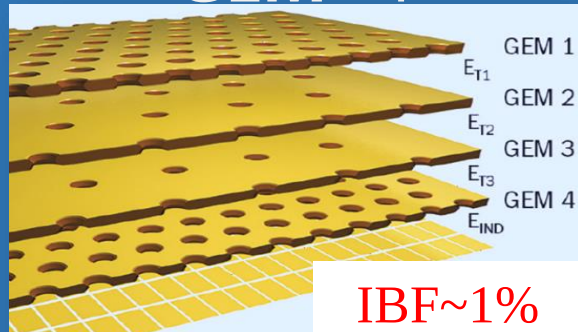
低离子反馈: Hybrid、DMM、TMM

GEM+MM



IBF~0.1% Z. Yuan et al., IJMP A 35 (2020) 2041014

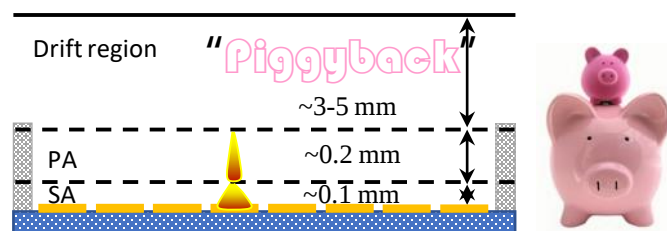
GEM×4



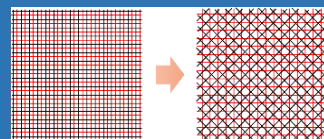
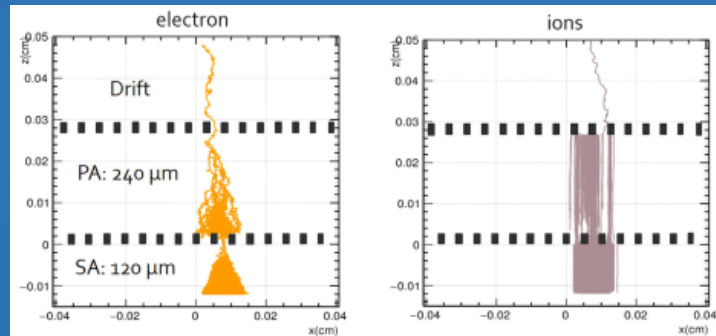
IBF~1%

T.Alexopoulos et al., NIM-A 937(2019) 125-1400

DMM



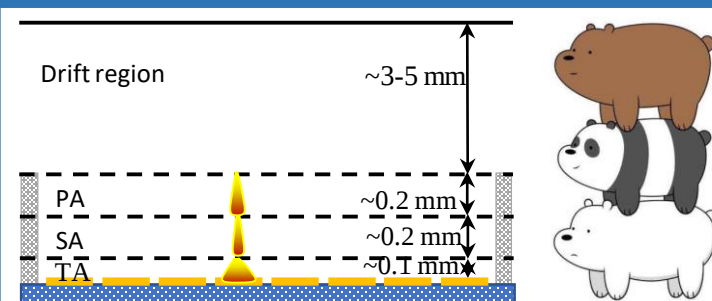
Double Micro-Mesh gaseous structure



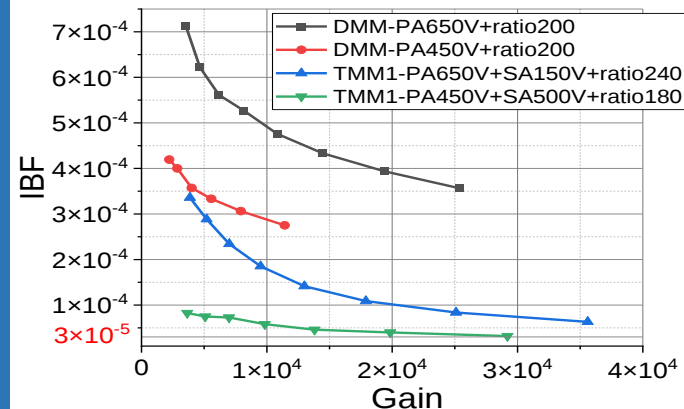
IBF~0.025%

BinbinQi et al., NIM-A 976 (2020) 164282
Kunyu Liang et al, NIM-A 1070 (2025) 170033

TMM



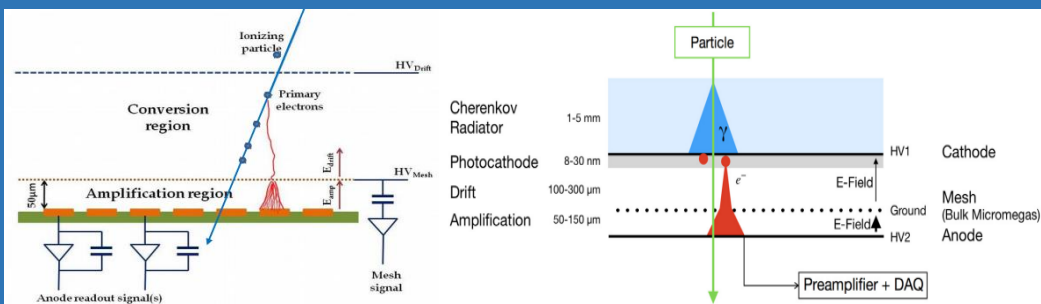
IBF of DMM and TMM



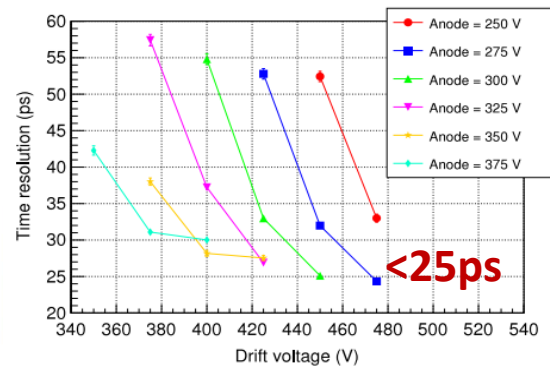
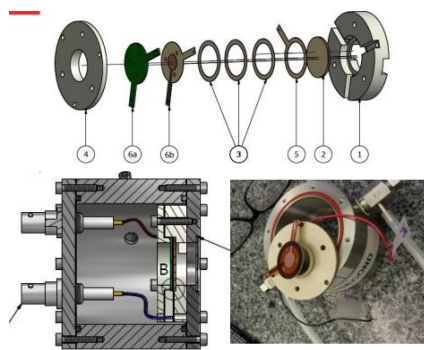
<0.003% 达到此类结构原理极限,
比已有报导提高1个量级!

快时间测量: PICOSEC-MM、FT-DMM

PICOSEC-MM

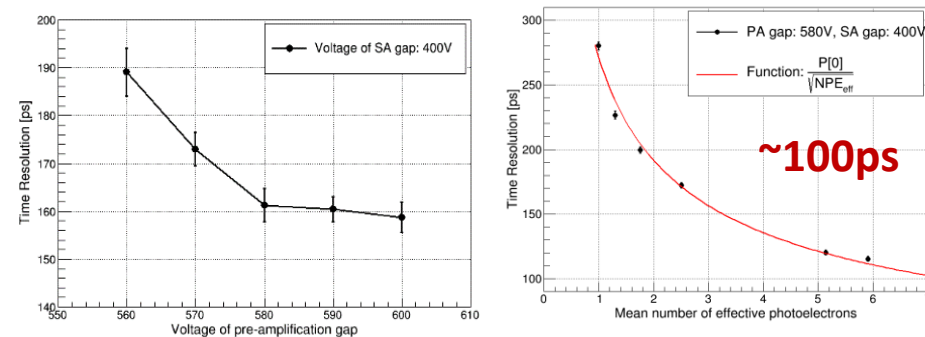
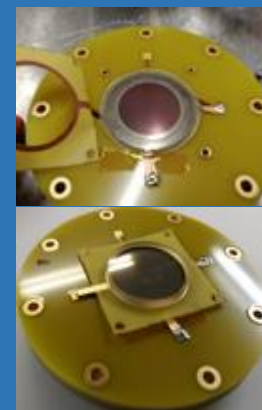
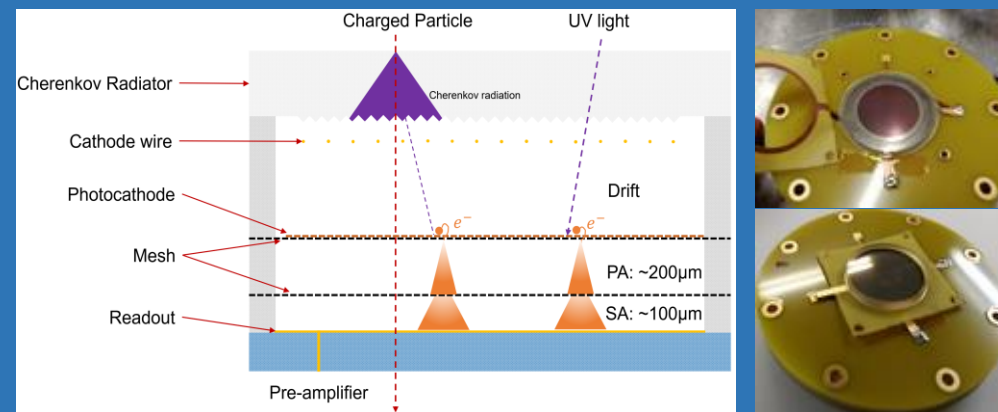


- ◆ 切伦科夫光电转换电信号
- ◆ 克服电离位置和电子漂移扩散造成的信号时间抖动



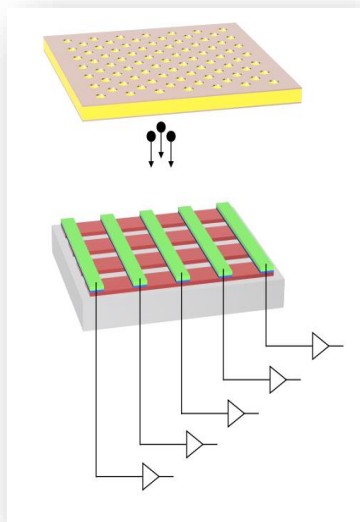
J. Bortfeldt, et al., NIM-A, 903 (2018) 317-325

FT-DMM



X. Wang et al., NIM-A, 1055 (2023) 168529

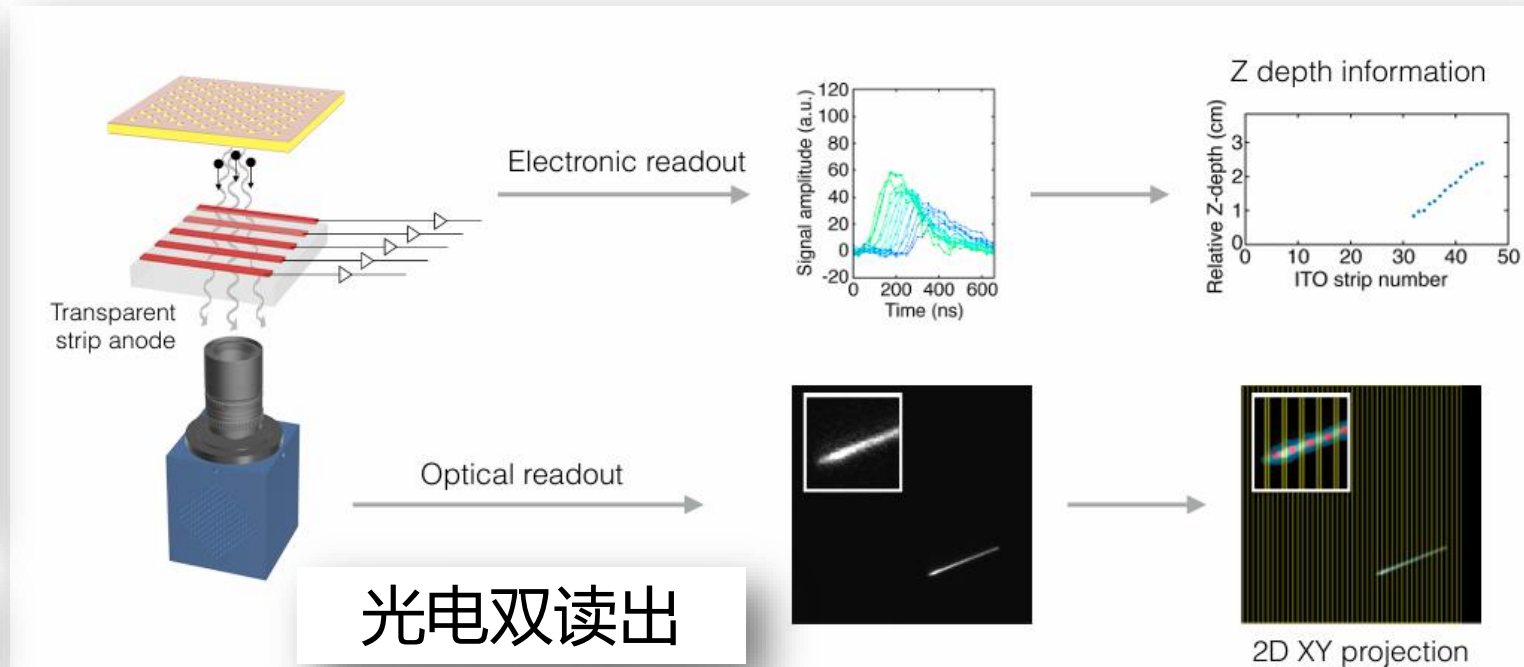
新型光读出: GEM/MM+CCD/CMOS



电读出



光读出



光电双读出

✓ **高集成化**: 无复杂读出电极、电子学 ✓ **高像素分辨** ✓ 透镜、镜面调节适用**强磁场、高流强环境**
△ 响应时间长、频率低, 计数率受限 △ 辐照损伤 △ 发光谱与成像器件适配, 特定气体 (如 CF_4)

新型光读出: GEM/MM+CCD/CMOS

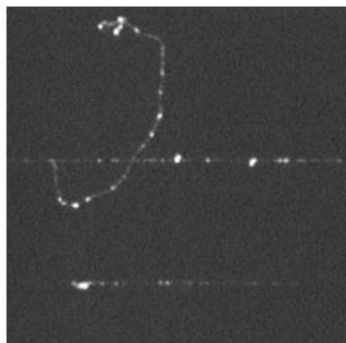
光读出MPGD探测与成像: 单粒子、射束、X-ray成像



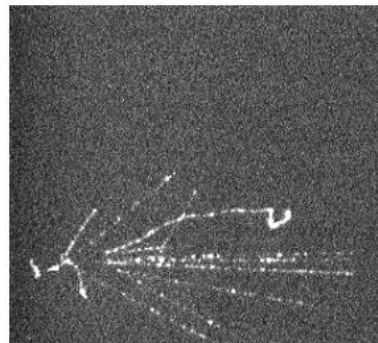
X-ray photons



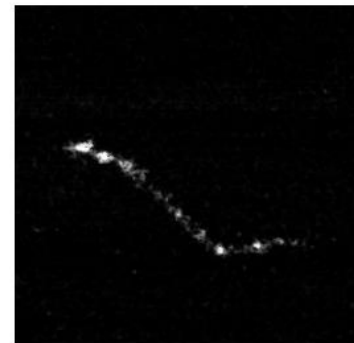
Alpha track



Muon tracks with δ -ray



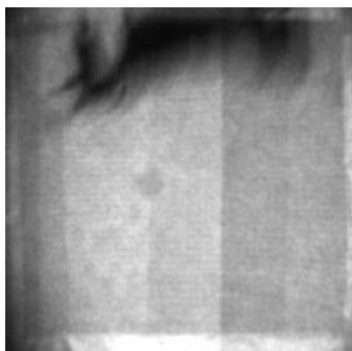
Hadronic shower



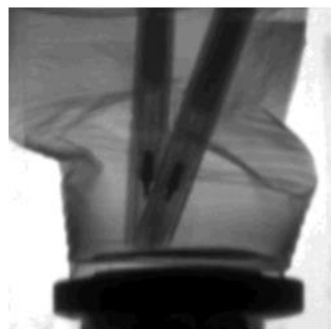
Cosmic event



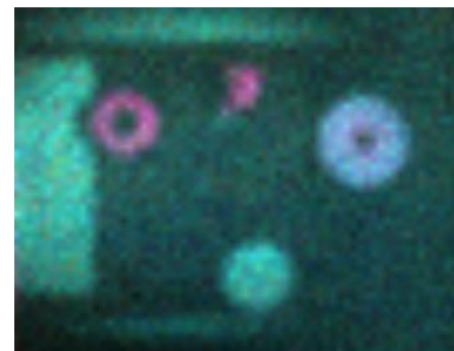
Proton beam profile



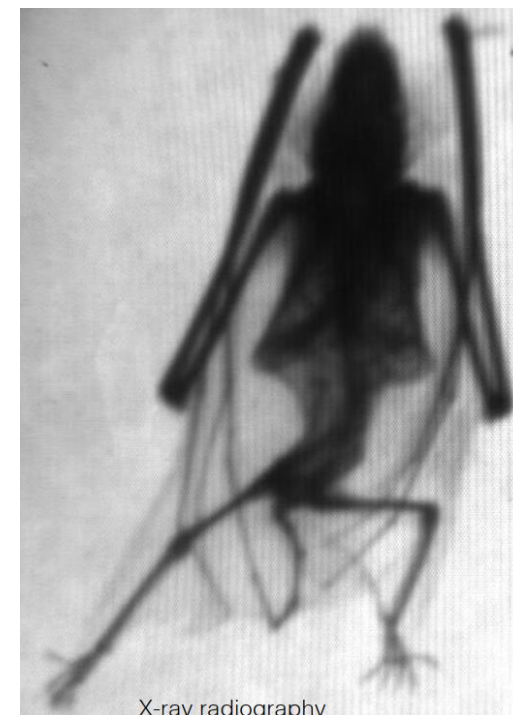
X-ray fluoroscopy



X-ray tomography



X-ray fluorescence



X-ray radiography

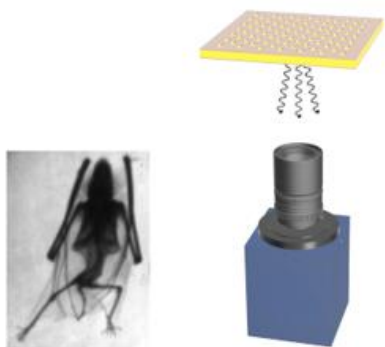
新型光读出：GEM/MM+CCD/CMOS

光读出MPGD应用场景：快速大视场、3D TPC、探测器研究

快速成像

MPGD倍增（像增强）+高像素相机

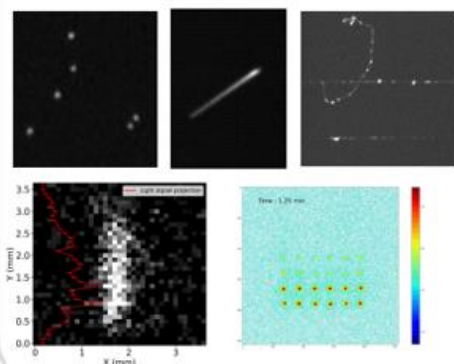
高分辨快速成像，立等可取



高分辨大视场

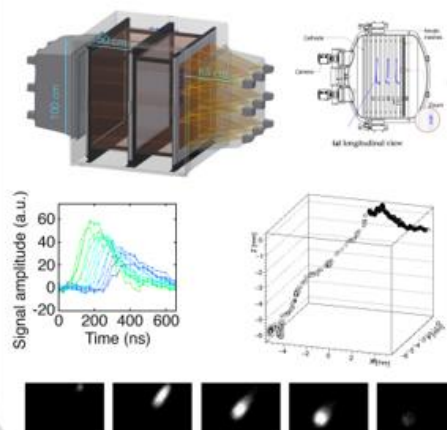
X-ray成像：从KeV-数百KeV（高压）

单事例成像： α 、 β 、X-ray、中子等



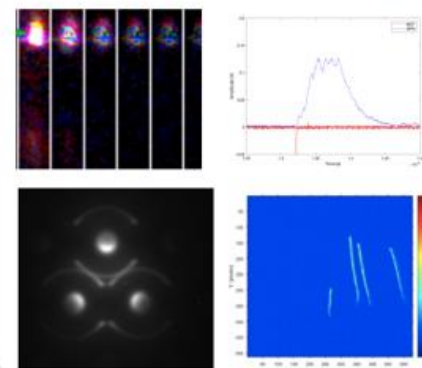
3D TPC

高颗粒度2D光读出
+电测量Z测量
用于暗物质、中微子等稀有物理复杂径迹事例测量研究



探测器物理研究

探测器均与性、增益快速表征，打火位置机制研究等



报告提纲

01

微结构气体探测器 (MPGD)

02

中科大MPGD研究与应用

03

总结与展望

01 高性能阻性电极

02 热压接Micromegas探测器

03 支撑核与粒子物理实验研究

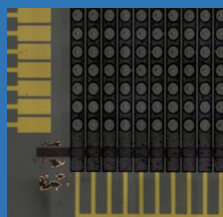
04 服务于辐射探测与成像应用

高性能阻性电极

高性能阻性电极是大面积MPGD研制的关键：抑制打火、提高稳定性



电子浆料



丝网印刷

10-20 μm , $\text{k}\Omega/\square$ - 100 $\text{M}\Omega/\square$

- 复杂结构
- 大面积制作
- △ 高温处理
- △ 阻值可控性
- △ 打火损伤



镀钨薄膜



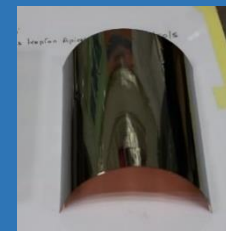
电子束或热蒸发

0.1-1 μm , $\text{M}\Omega/\square$ - 500 $\text{M}\Omega/\square$

- 阻值可控性：厚度
- 高纯材料 (Ge)
- 大面积制作
- △ 化学及热稳定
- △ 氧化失效：干燥保存



类金刚石结构碳



磁控溅射 (石墨靶)

0.001-0.1 μm , $\Omega/\square$ - $\text{G}\Omega/\square$

- 阻值可控性：掺杂
- 高纯材料 (石墨靶)
- 柔性基材
- 化学及热稳定
- △ 大尺寸刚性基材 (如FR-4)
依赖于大型设备

高性能阻性电极

Eraldo Oliveri
CERN



Fabio Sauli
CERN



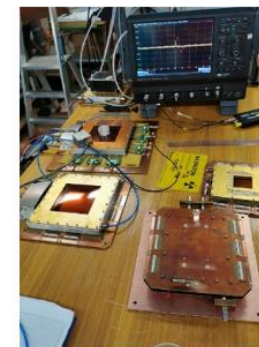
Ioannis Giomataris
Saclay



Giovanni Bencivenni
LNF-INFN



Mauro Iodice
INFN Roma Tre



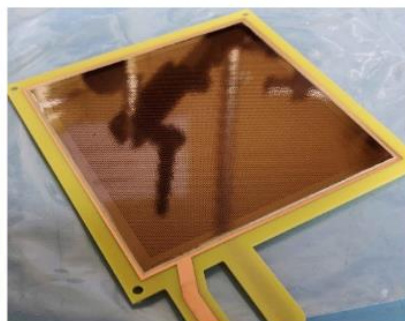
Ming Shao
USTC



Yongjie Sun
USTC



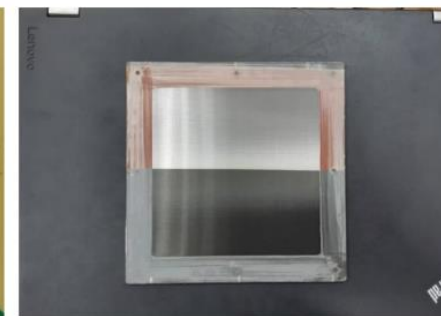
Piotr Gasik
TUM



Piet Verwilligen
INFN - Sezione di Bari



Pollacco Emmanuel
Saclay



中科大与中科院兰州化学物理研究所合作研发**DLC在国际国内MPGD研究中应用**



中科大MPGD研究与应用

01 高性能阻性电极

02 热压接Micromegas探测器

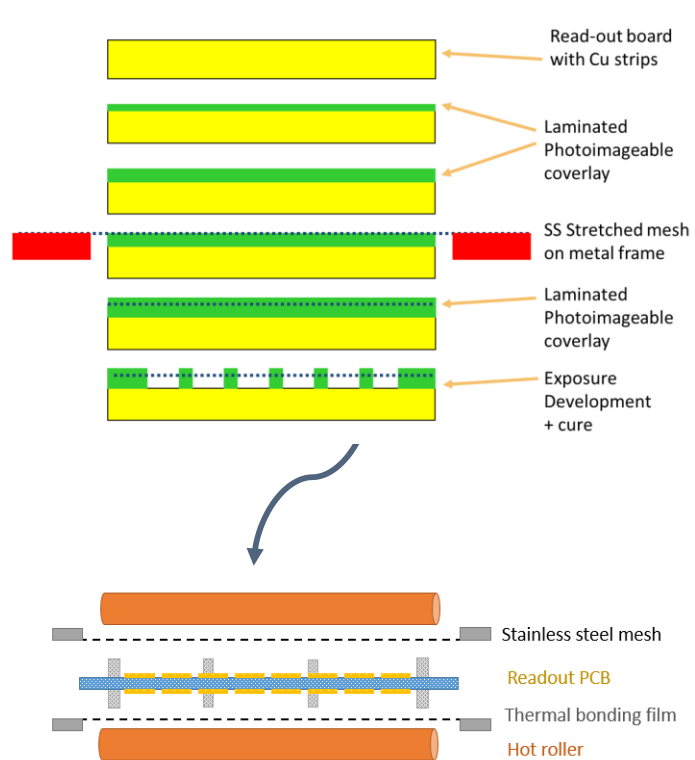
03 支撑核与粒子物理实验研究

04 服务于辐射探测与成像应用

热压接Micromegas探测器

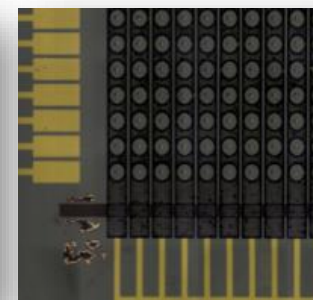
热压接Micromegas方法

1：一体化压接替代多重压合蚀刻



- ✓ 材料灵活
- ✓ 参数可控
- ✓ 面积易扩展

2：非晶锗薄膜替代电子浆料阻性阳极



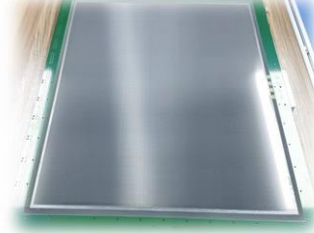
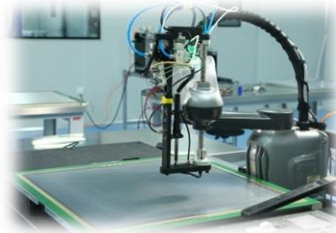
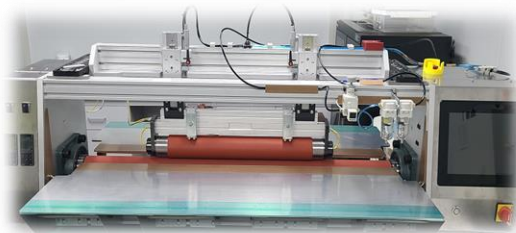
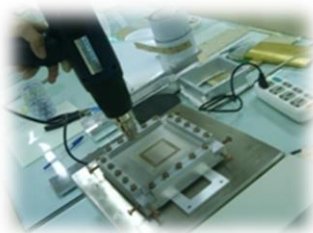
- ✓ 电阻率可控
- ✓ 低放射性本底
- ✓ 大面积制作

丝网印刷
阻性浆料

热蒸发制备
锗薄膜

热压接Micromegas探测器

长期探索：创新方法，自研设备



2008~2015年（学习与试错）

- 阻性电极方案
- 雪崩结构支撑方法
- 性能限制因素

2016~2021年（理解与掌控）

- 阻性电极机制
- 热压接方法
- **自研**高精度专用设备

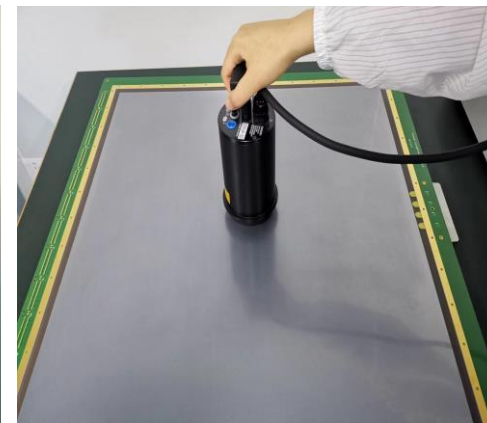
2022~2025年（创新与领先）

- **创新**多层结构
- 实现**大面积高性能**研制
600mm-1000mm

难点问题：微网电极与阳极之间雪崩间距~100微米，误差不超过5微米！

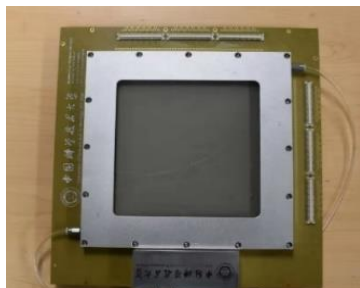
热压接Micromegas探测器

全流程掌控、自动化开发



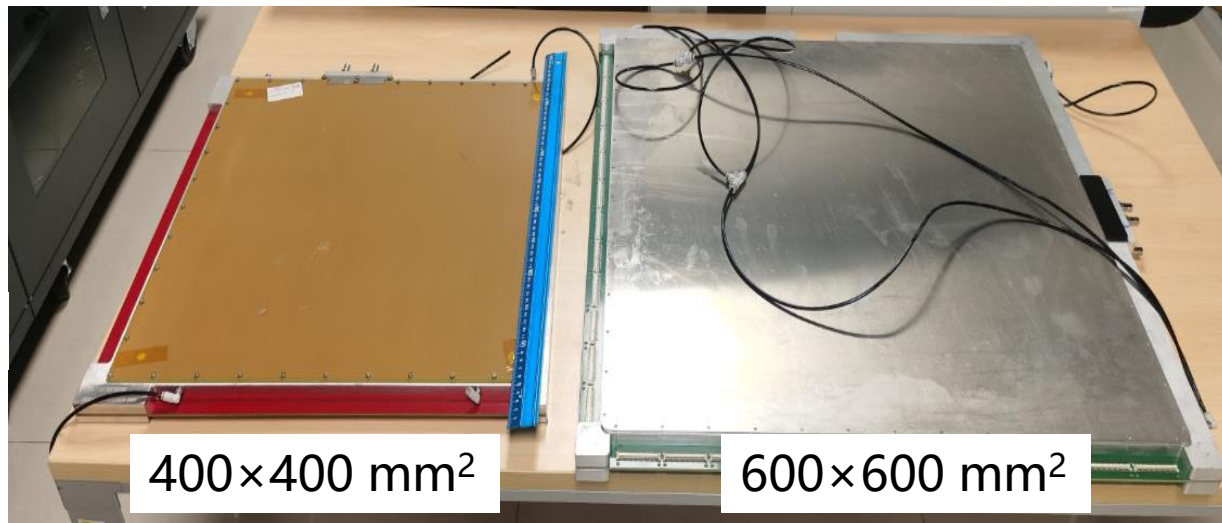
热压接Micromegas探测器

大面积高分辨径迹探测器



150×150 mm²

400μm 条间距



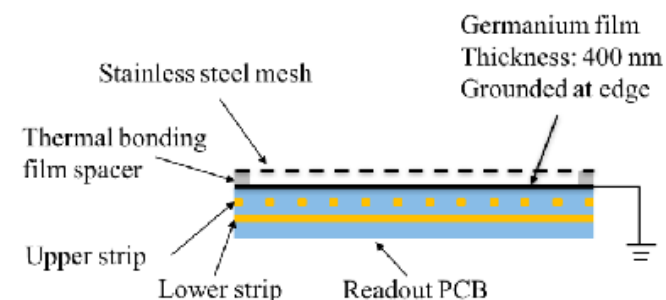
400×400 mm²

600×600 mm²

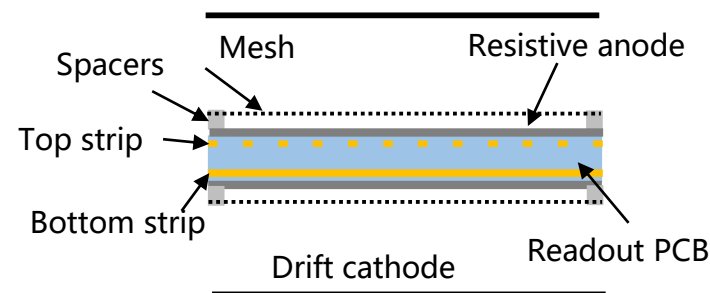
尺寸 (mm ²)	读出方式	位置分辨	MIP探测效率
150×150	单面	< 100μm	>95%
400×400	单面	~130μm	>95%
600×600	背靠背	~150μm	>95%

- 面积增大分辨率降低：需要优化信噪比、探测器对齐、PCB形变等
- 背靠背设计：降低微网张力和气压造成的读出板形变

单面读出



背靠背读出





中科大MPGD研究与应用

01 高性能阻性电极

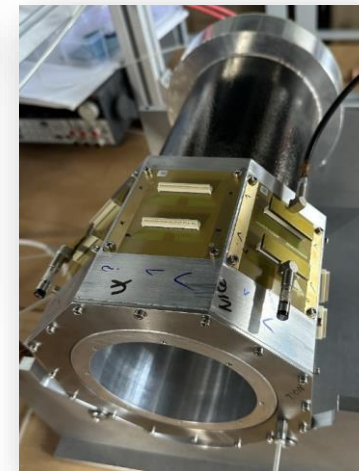
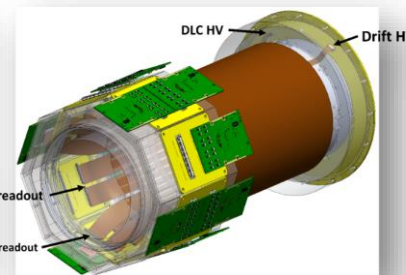
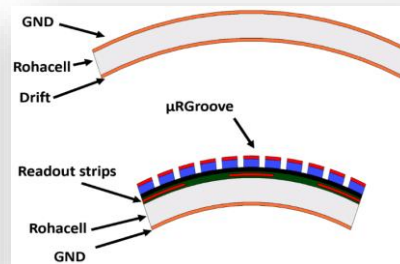
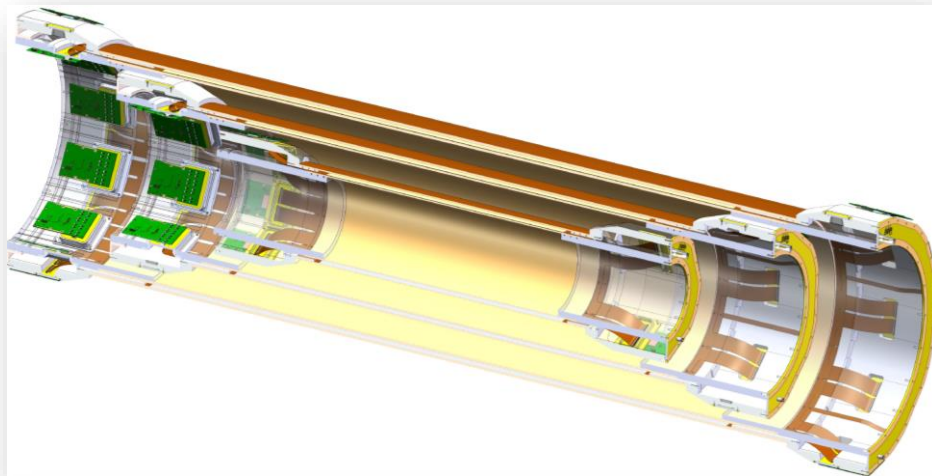
02 热压接Micromegas探测器

03 支撑核与粒子物理实验研究

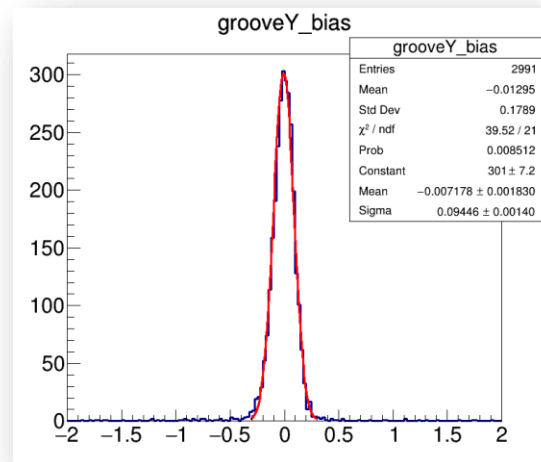
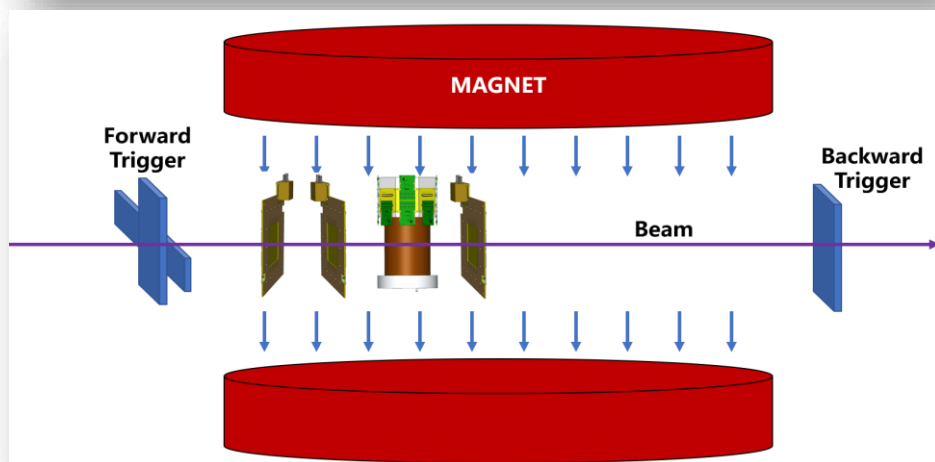
04 服务于辐射探测与成像应用

支撑核与粒子物理实验研究

下一代对撞机实验预研 (STCF-Inner tracker)

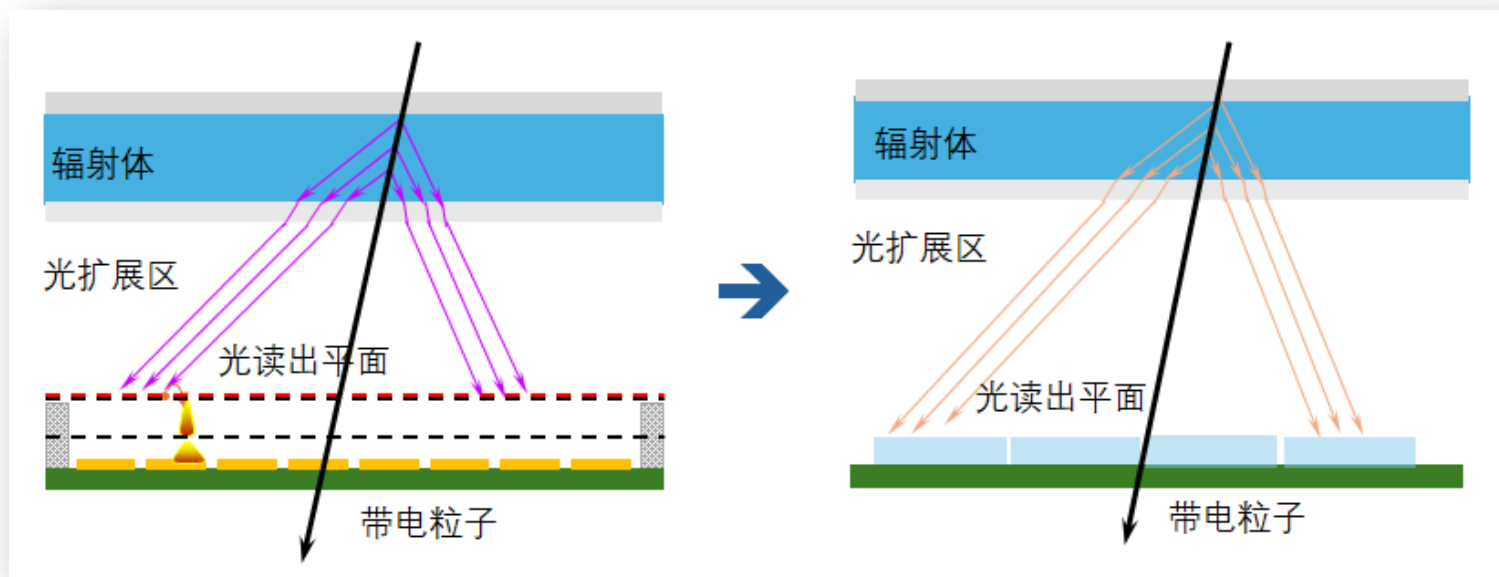


- ✓ 超低质量: $\sim 0.23\%X_0$
- ✓ 位置分辨: 好于100微米



位置分辨 $\sim 94\mu\text{m}$ @ $B=0\text{T}$,
150GeV muon

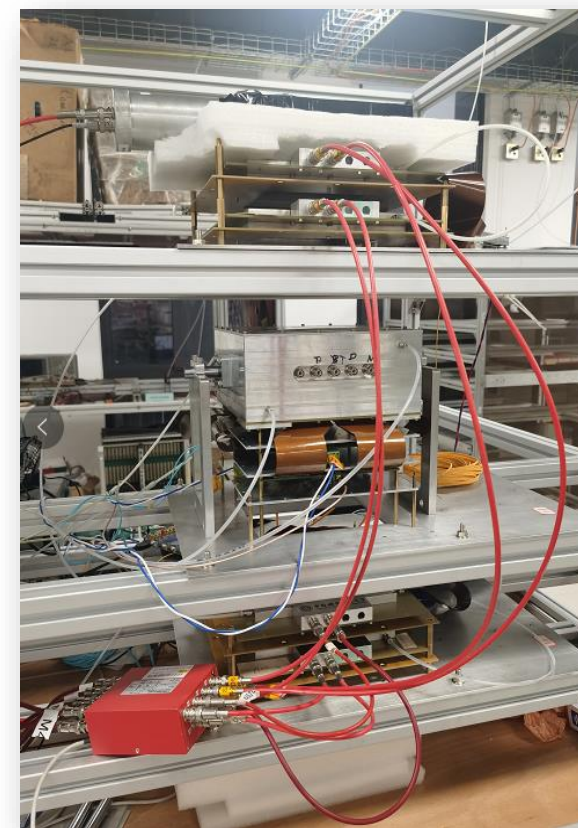
下一代对撞机实验预研 (STCF-RICH)



基于**紫外光**到**可见光**灵敏的气体光电读出探测器：

- ✓ 大面积高位置灵敏 ✓ 低噪声低物质质量 ✓ 耐辐照低成本
- ✓ 宽波段低色散（可见光）

完成紫外光读出样机研制，并开展宇宙射线测试。



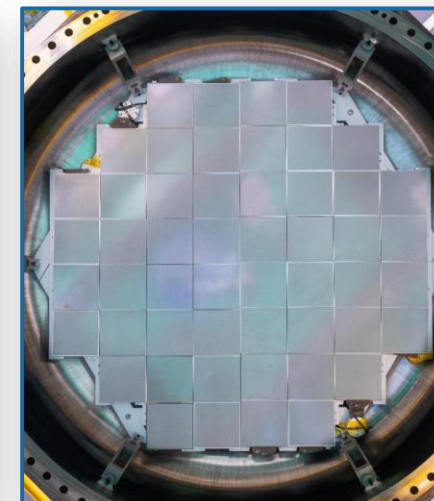
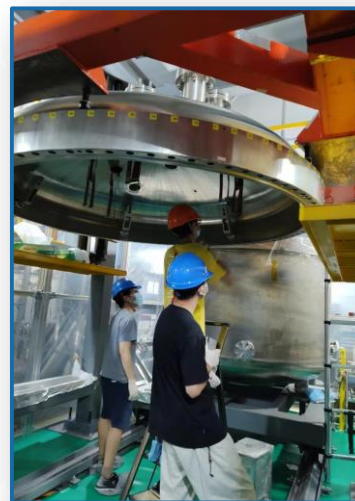
STCF-RICH样机系统
宇宙线测试

支撑核与粒子物理实验研究

PandaX-III无中微子双贝塔衰变实验



指标需求：(1) **10bar**高压 ^{136}Xe TPC；
(2)好于**3%@2.5MeV**能量分辨；(3)**超低材料本底**；



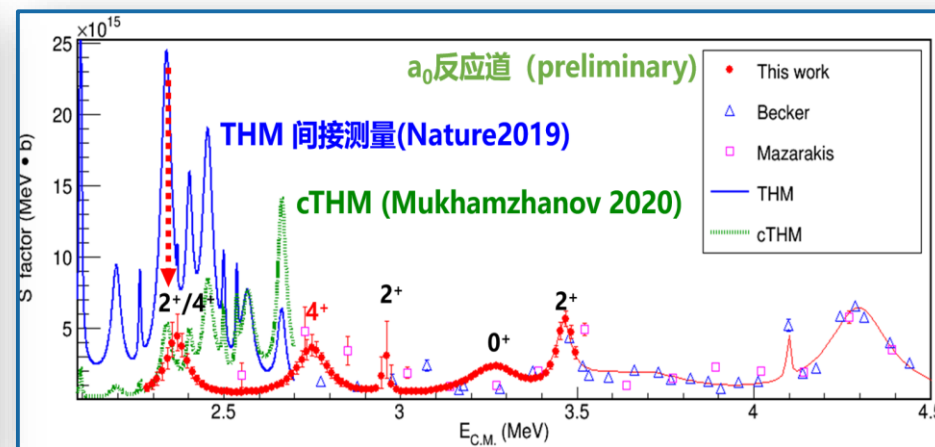
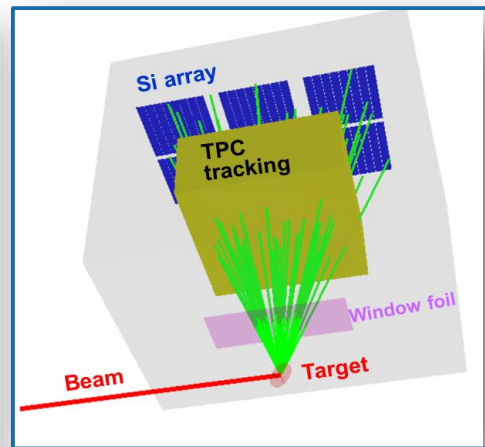
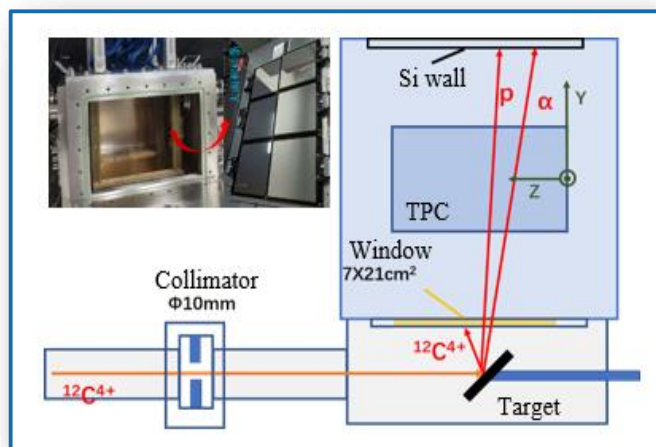
52个探测器工程样机

低本底、高压针对性设计研发，**替代了**性能未达标的**进口探测器**，完成**1.5 m²高压**读出探测器阵列，实现能量分辨率指标。

Sicheng Wen, et al., NIM-A 1062(2024) 169206

支撑核与粒子物理实验研究

碳碳融合反应实验研究



引入双层微网探测器，攻克了读出探测器的各项技术瓶颈，实现：

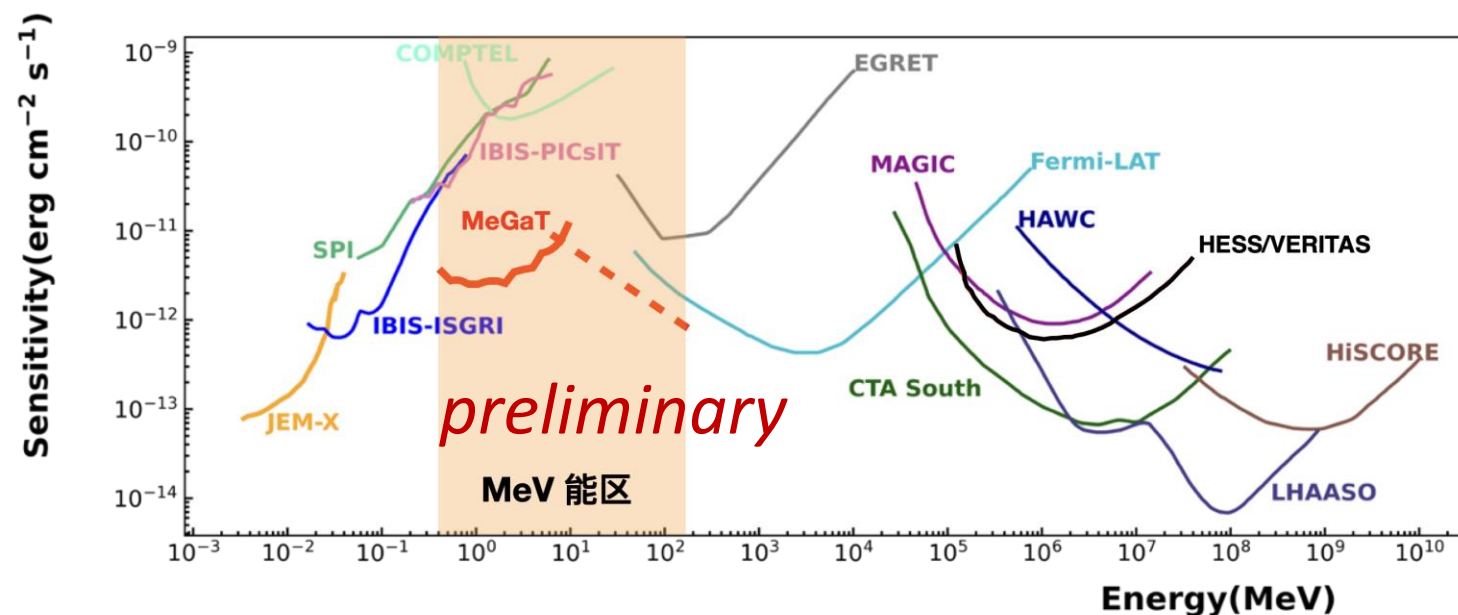
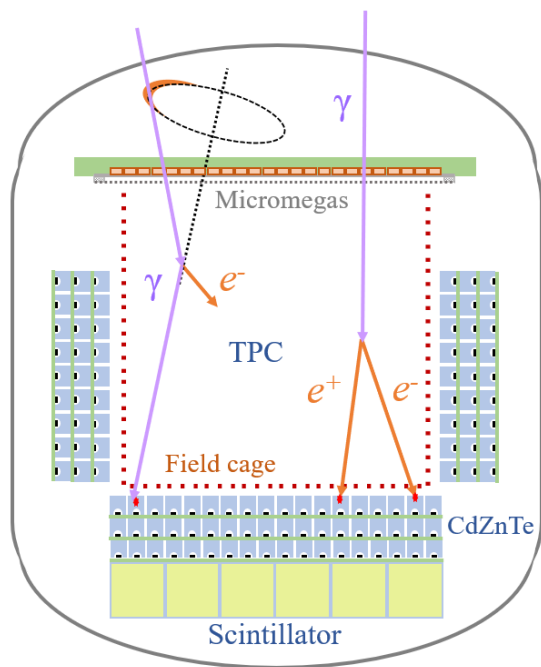
✓ **0.1%**低离子反馈率 ✓ **50bar低气压**条件下>1000增益 ✓ 长周期的**持续运行**采数

与近物所团队一起，首次将 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \alpha_0)^{20}\text{Ne}$ 反应道测量推进到 $E_{\text{cm}} < 2.6\text{MeV}$ ，发现THM等外推模型并不适用。

支撑核与粒子物理实验研究

MeGaT: 新一代空间MeV伽马射线望远镜

TPC+CZT: $50 \times 50 \times 60 \text{ cm}^3$, 3-5 bar

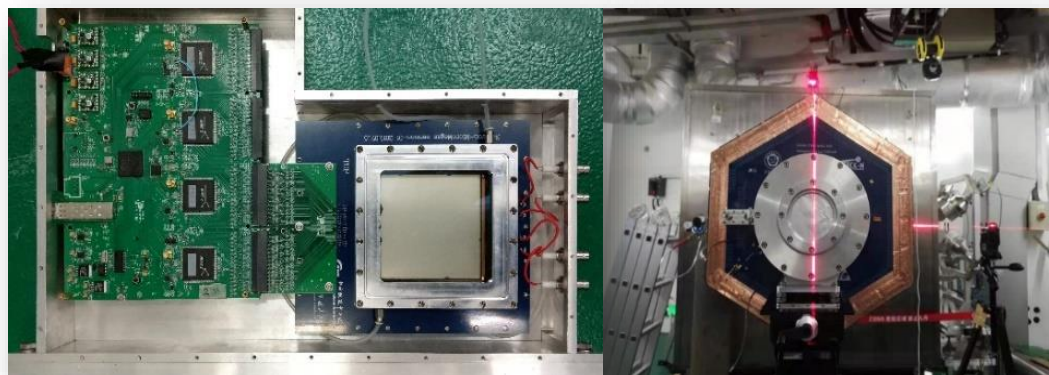


预期性能指标优势: ✓ **宽能量范围**: 0.3MeV-100 MeV

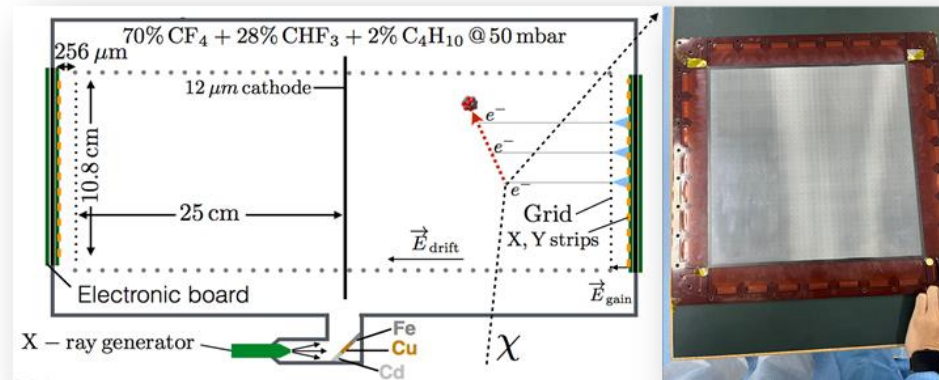
✓ **高角分辨** (PSF) : $2^\circ @ \text{MeV}$, $0.5^\circ @ 100 \text{ MeV}$ ✓ **伽马偏振测量**

支撑核与粒子物理实验研究

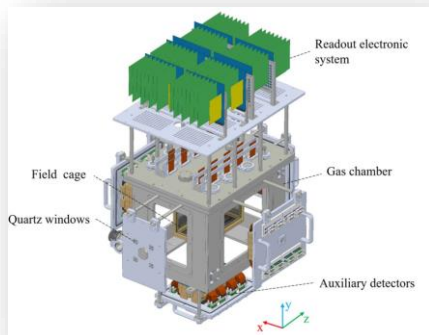
为国内外多项研究实验提供关键探测器支撑



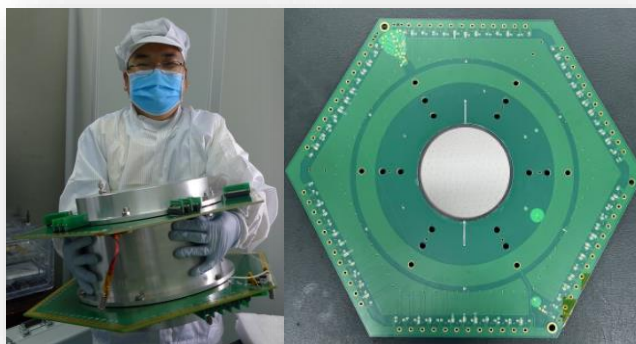
The MTPC (中国散裂中子源)
中子核数据测量



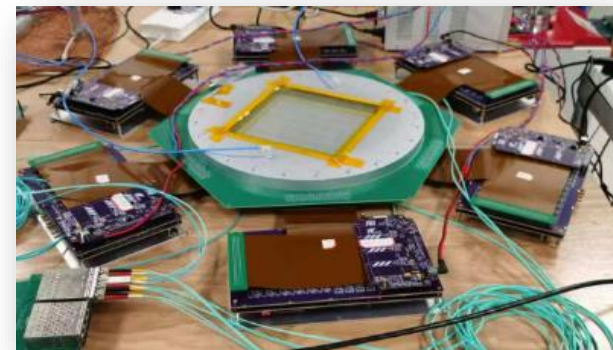
MIMAC (法国)
方向性暗物质探测



fMeta-TPC (复旦大学)
光-核相互作用实验



核物理与化学研究所
裂变截面测量实验



北京禁核试国家数据中心
低本底同位素测量



中科大MPGD研究与应用

01 高性能阻性电极

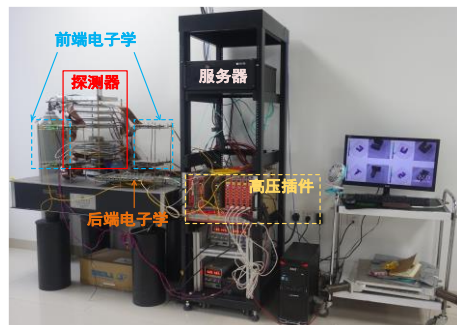
02 热压接Micromegas探测器

03 支撑核与粒子物理实验研究

04 服务于辐射探测与成像应用

服务于辐射探测与成像应用

缪子成像：现有成像技术重要补充



2016-2019年: $15 \times 15 \text{ cm}^2$



2019-2022年: $40 \times 40 \text{ cm}^2$



2022-2024年: $60 \times 60 \text{ cm}^2$

完成三代缪子成像装置迭代，功能日臻完善

- ✓ 2D读出Micromegas，分辨好于150微米
- ✓ 4π 全角度指向可调，5G网络GPS定位
- ✓ 高低压电源集成 ✓ 温湿度监测等

服务于辐射探测与成像应用

缪子成像：丰富的应用场景



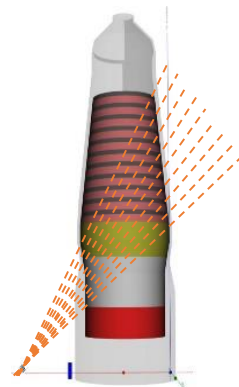
合肥3号线



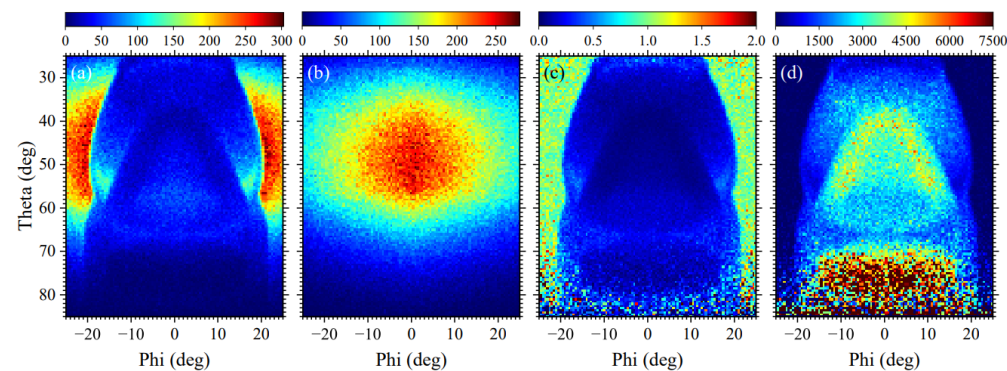
隧道施工与运行中安全预警（与深圳地铁合作）



河南钢铁公司2号高炉三维成像



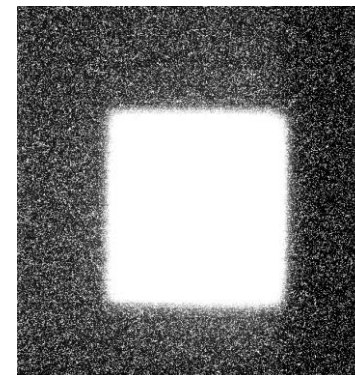
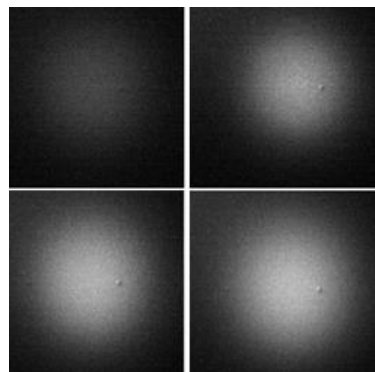
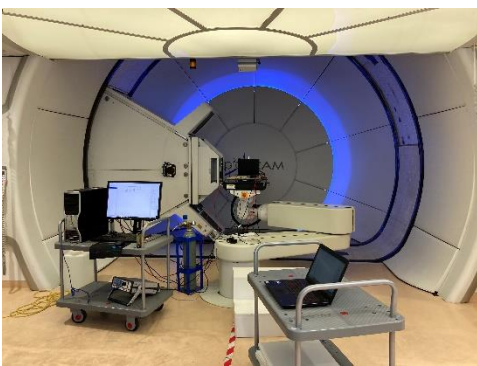
完成4套 μ STC装置部署



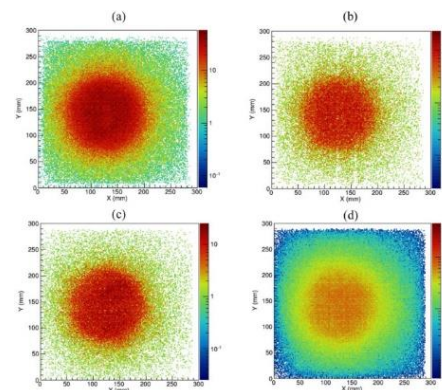
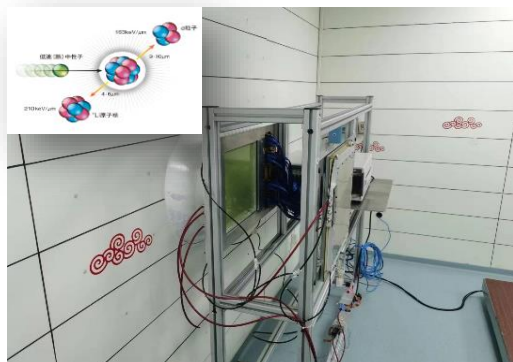
模拟预期结果

服务于辐射探测与成像应用

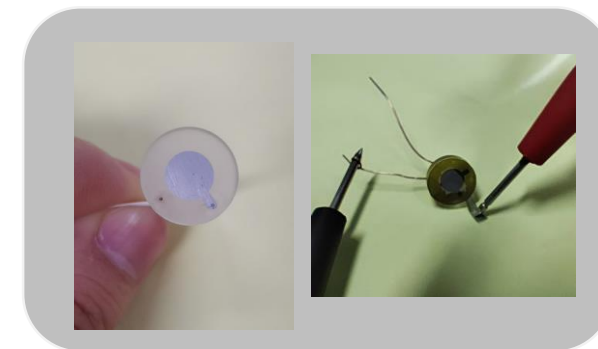
放射医疗射束质量保证 (QA)



强流质子束/伽马束试验



硼中子俘获治疗 (BNCT) 中子束检测试验

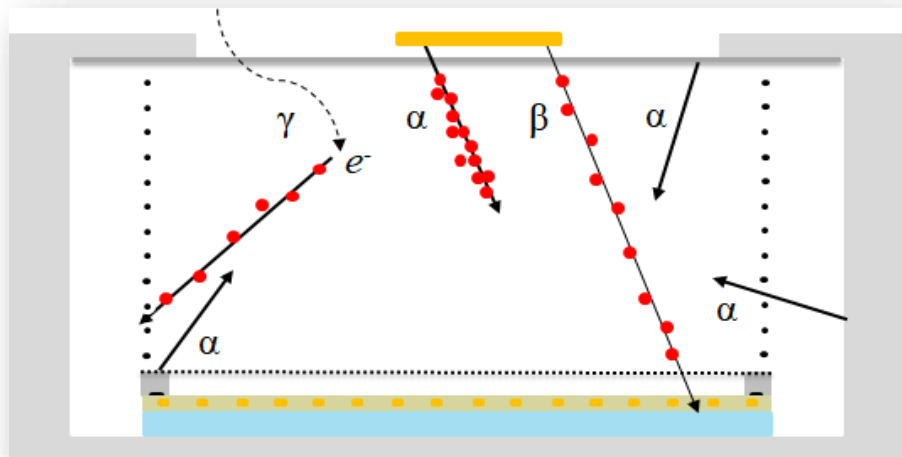
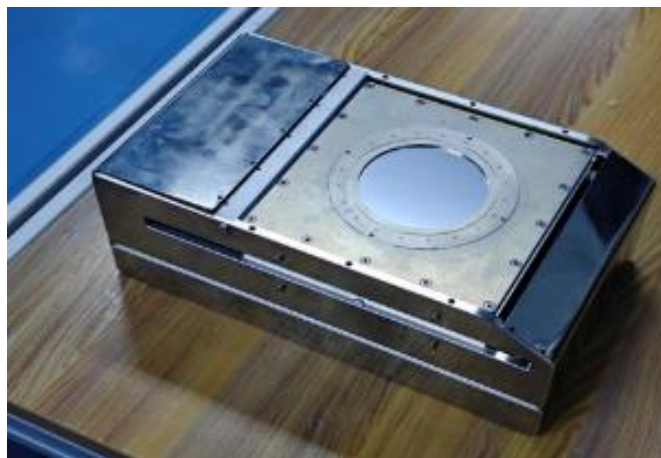


TEPC微纳计量学器件试制

低本底放射性 $\alpha\beta$ 检测：低本底实验研究、生态环保等方面需求广泛

采用基于低本底Micromegas的TPC技术

- ✓ 多维度信息，实现超低本底
- ✓ 污染分布成像
- ✓ 环境 α ， β ， γ 等本底区分
- ✓ 轻量化、便携式



与现有商业产品（ORTEC-9604）相比，

α 本底降低30倍、 β 本底降低5倍以上。

Jiang Pan et al., RSI 93, 013303 (2022); Ruiyang Zhang et al., NST, 2025-03

报告提纲

01

微结构气体探测器 (MPGD)

02

中科大MPGD研究与应用

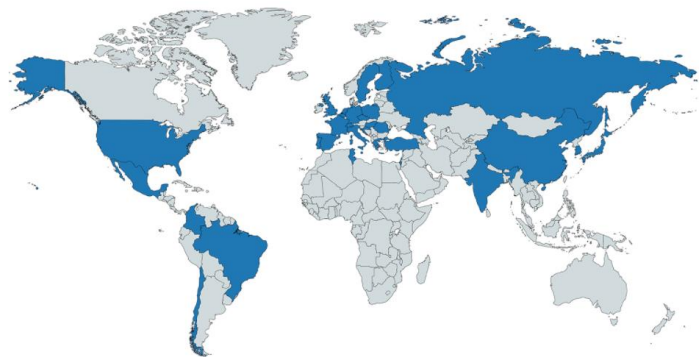
03

总结与展望



总结与展望

RD51(现重组为**DRD1**)是欧洲核子中心(CERN) 2007成立的致力于MPGD研究、生产和应用的国际研究合作组：来自31个国家，89个机构,约450个参与成员。



2017年国内先进气体探测器**合作组成立**
每年一届的全国先进气体探测器研讨会稳定参会人数约**150人**

2024年国际微结构气体探测器会议（2年1次）**首次**在中国（中科大）举办

- 广泛合作，联合攻关；
- 追踪微纳加工先进技术，突破探测器性能极限；
- 从粒子物理延伸到多学科领域；
- 从单一探测方法到多类型技术融合；



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

核探测与核电子学国家重点实验室
State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics



中国高等科学技术中心
China Center of Advanced Science and Technology

第十三届全国先进气体探测器研讨会会议通知

第十三届全国先进气体探测器研讨会将于 2025 年 8 月 21 日至 8 月 22 日在上海举行。全国先进气体探测器研讨会是核探测与核电子学国家重点实验室创办主办的系列学术会议，每年举行一次，旨在促进国内先进气体探测器及其读出电子学技术的发展，推动相关技术在基础和其他领域中的应用。第十三届研讨会由核探测与核电子学国家重点实验室和上海交通大学联合主办。本次会议得到中国高等科学技术中心资助。

2025年8月21日，上海交大

总结与展望

- 科学实验与应用需求驱动下，不断突破极限性能
 - **平米级**大面积、 **$>10 \text{ MHz/cm}^2$** 计数率、 **<100 微米**位置分辨、 **$<30\text{ps}$** 超快定时 (PICOSEC-MM)、 **$>10^6$** 高增益和 **$<0.01\%$** 的极低离子反馈(DMM&TMM)
- 从物理研究延伸到工业应用
 - 核安全、核医疗成像等场景应用**正在开发**
- 中科大团队多年来专注于MPGD研究
 - MPGD极限性能与新构型
 - 支撑科学研究与应用

谢谢！