



HERD穿越辐射探测器TRD 研究进展

刘熙文 刘宏邦 代聪 谷建雨 杨焱 封焕波

广西大学

2021-10-23

第十届全国先进气体探测器研讨会



C O N T E N T
目 录

- 1 穿越辐射探测器研究背景
- 2 穿越辐射探测器应用
- 3 穿越辐射原理及能量标定方法
- 4 原理样机:侧窗式穿越辐射探测器
- 5 工程样机:共腔式穿越辐射探测器
- 6 总结与展望

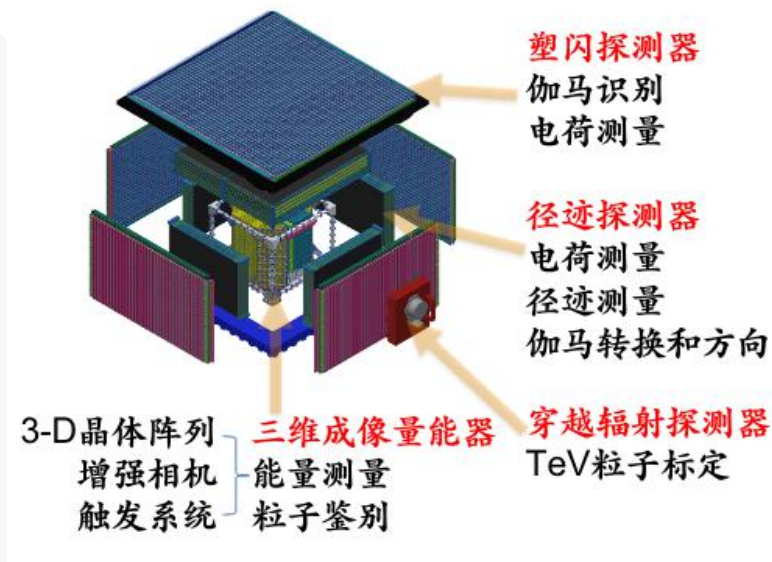


1 穿越辐射探测器研究背景

- **HERD**: 高能宇宙辐射探测设施 (High Energy cosmic Radiation Detection facility)。
- **科学目标**: 暗物质探测、高能宇宙线起源和空间高能伽玛射线巡天等。

实验(运行时间)	探测能区(e γ)	能量分辨(e γ)	e/p鉴别	电子有效接收度 m ² sr	质子有效接收度 m ² sr
美国卫星FERMI (2008)	1GeV-300GeV	10%	10 ⁻³	0.9	--
ISS-AMS-02 (2011)	1GeV-1TeV	2%	10 ⁻⁶	0.12	0.12
ISS-CALET (2015)	1GeV-10TeV	2%	10 ⁻⁵	0.12	--
中国卫星DAMPE(2015)	10GeV-10TeV	1%	10 ⁻⁵	0.3	0.2
ISS-CREAM (2017)	100TeV(p)	--	--	--	0.2
中国空间站HERD (2025)	10GeV-10TeV (e γ) 3PeV (p)	1%	10 ⁻⁶	>3	>2

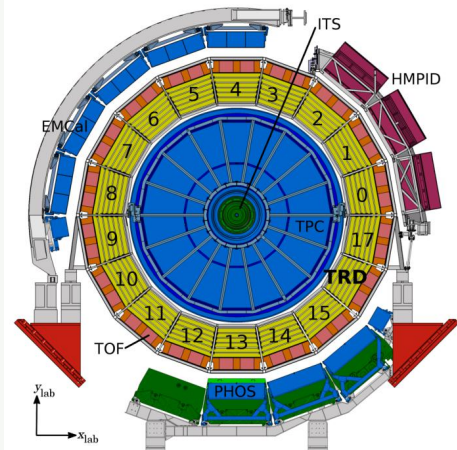
大探测能区、大有效几何因子、高能量分辨率、高粒子鉴别能力等突出优势。



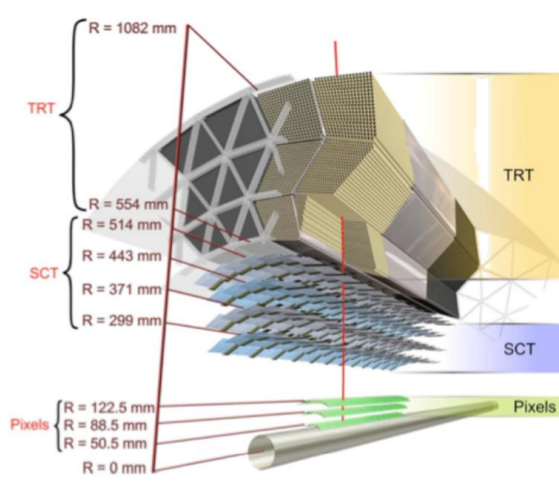
穿越辐射探测器(Transition Radiation Detector, TRD)利用高能带电粒子的穿越辐射对洛伦兹因子的依赖关系, **对HERD量能器进行TeV能段质子的能量标定。**



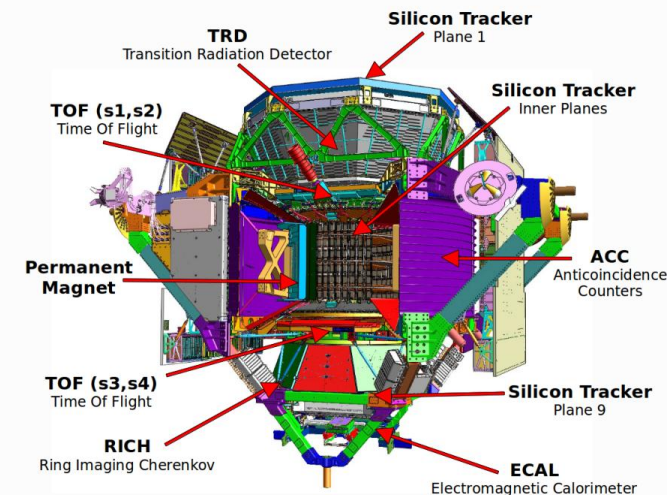
2 穿越辐射探测器应用



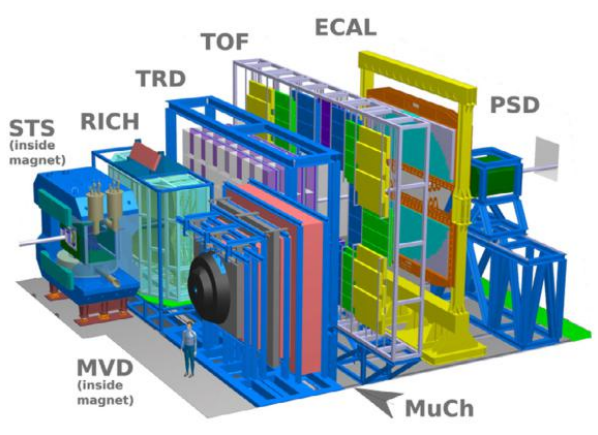
大型离子对撞机实验(ALICE)



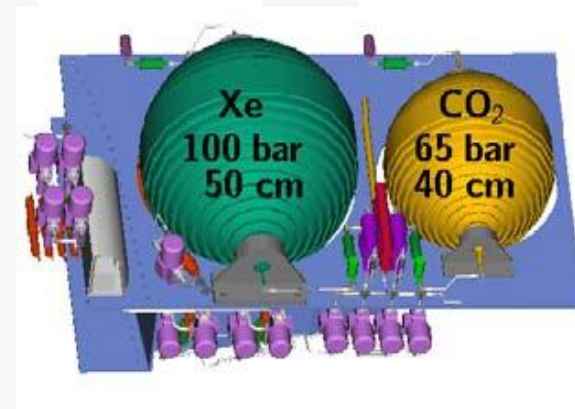
超环面仪器(ATLAS)



宇宙线能量与质量实验 (CREAM)



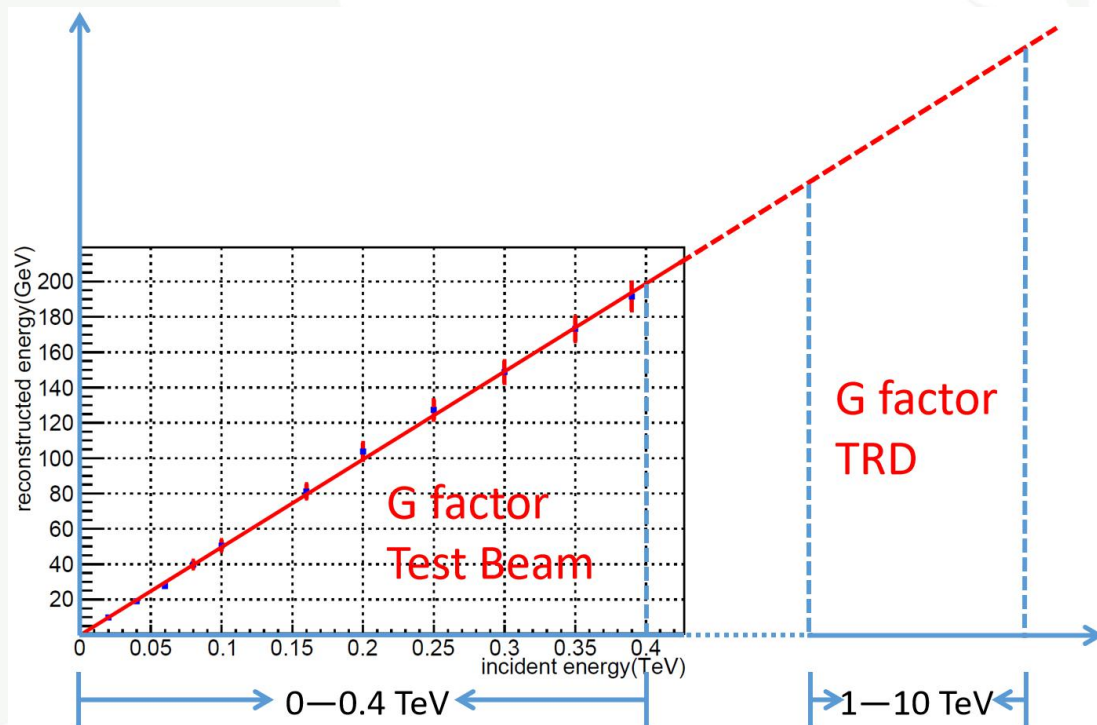
压缩重子物质实验(CBM)



阿尔法磁谱仪(AMS-02)



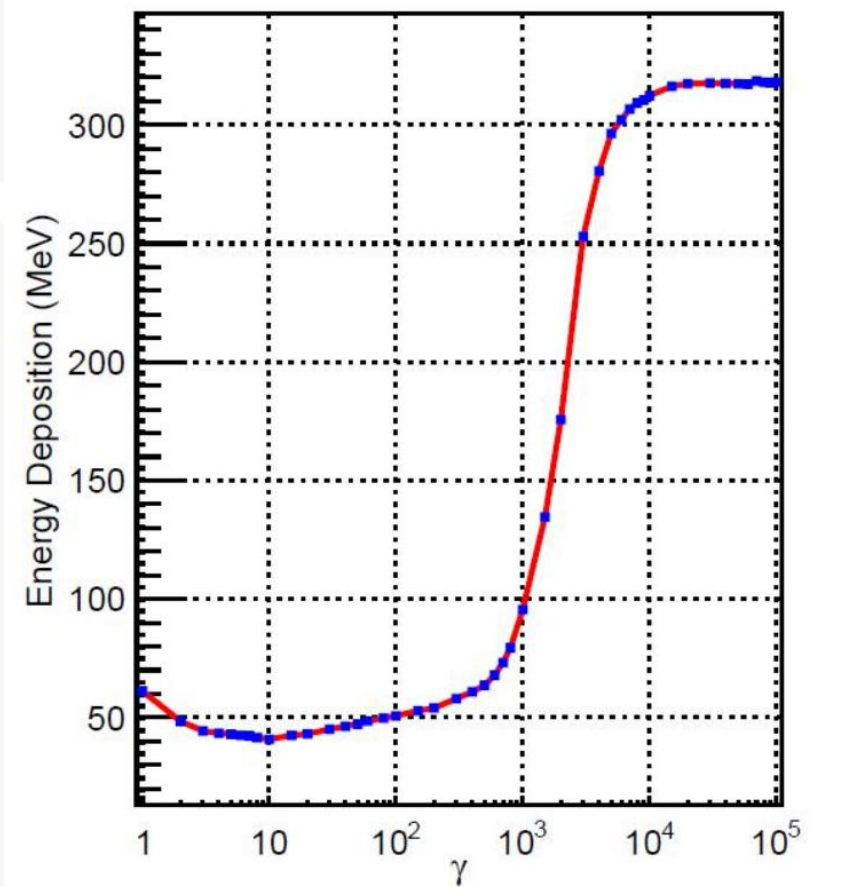
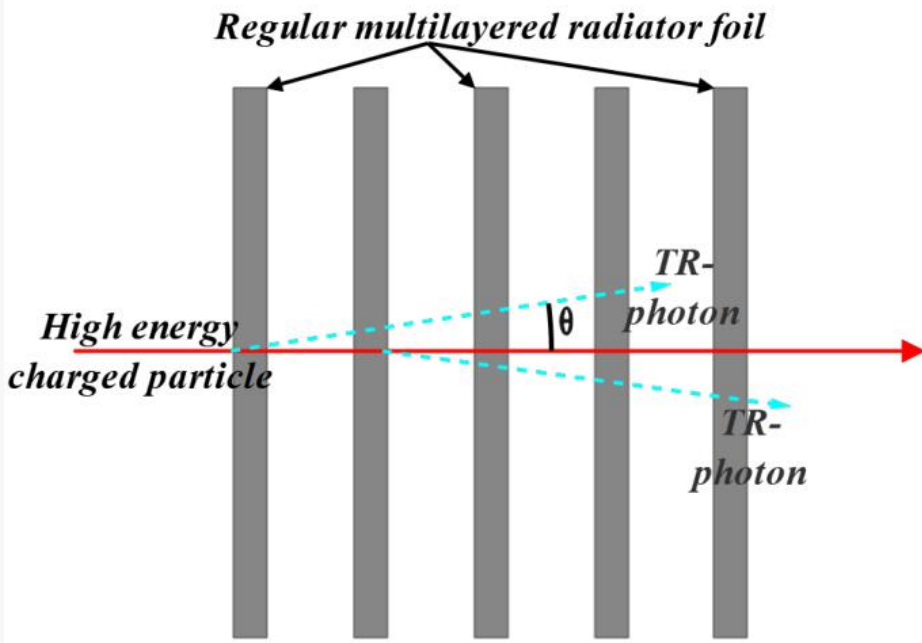
3 穿越辐射原理及能量标定方法



- 利用地面束流线完成最高400GeV的能量标定
- TRD利用空间质子完成 1- 10 TeV 的能量标定



3 穿越辐射原理及能量标定方法



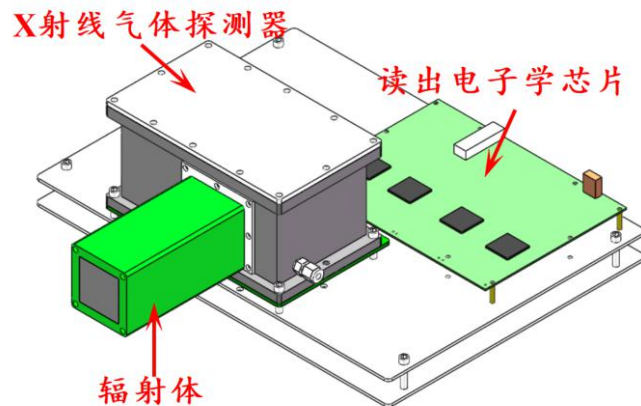
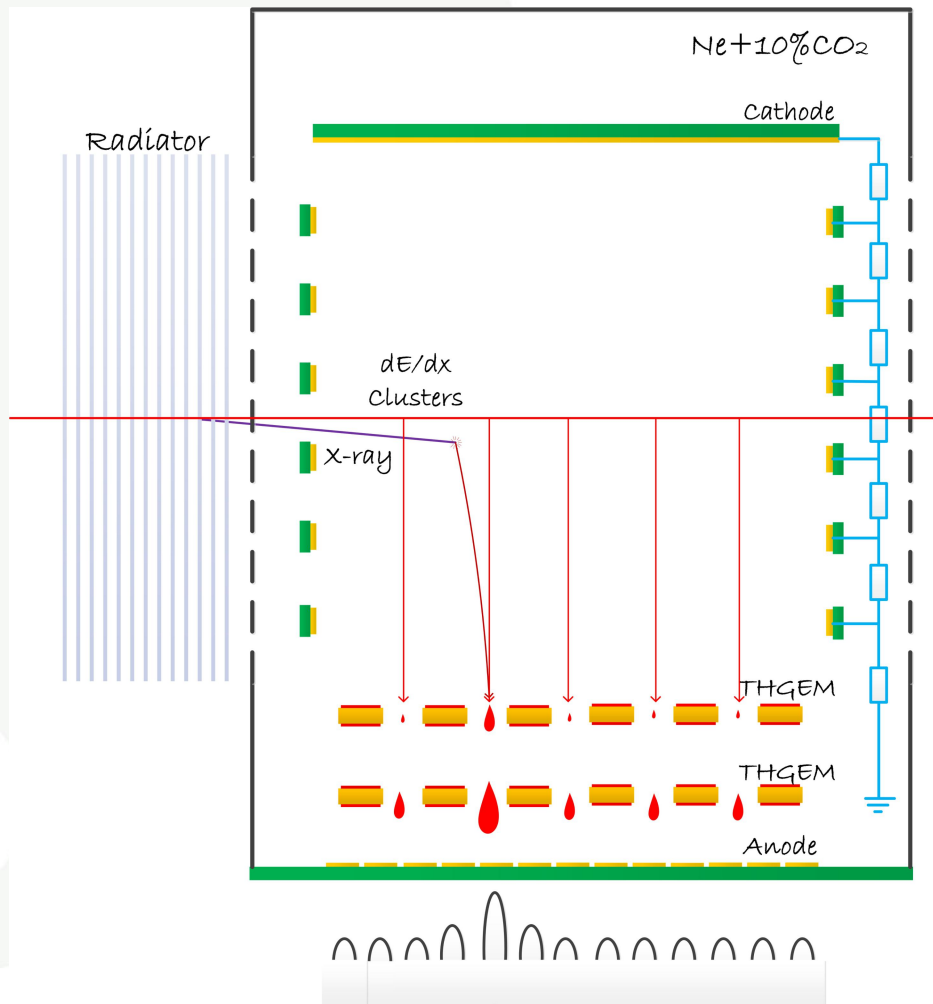
蒙特卡罗模拟给出的电离沉积与洛伦兹因子 γ 的关系曲线

➤ 穿越辐射特性:

- 1. 形成区效应
- 2. 最可几发射角 $\theta \sim 1/\gamma$
- 3. TR光子集中于X射线能区@聚酯等
- 4. N层箔片TR光子产额 $\sim N\alpha$
- 5. TR产生阈值 $\gamma \sim 10^3$, 饱和于 $\sim 10^4$



4 原理样机：侧窗式穿越辐射探测器

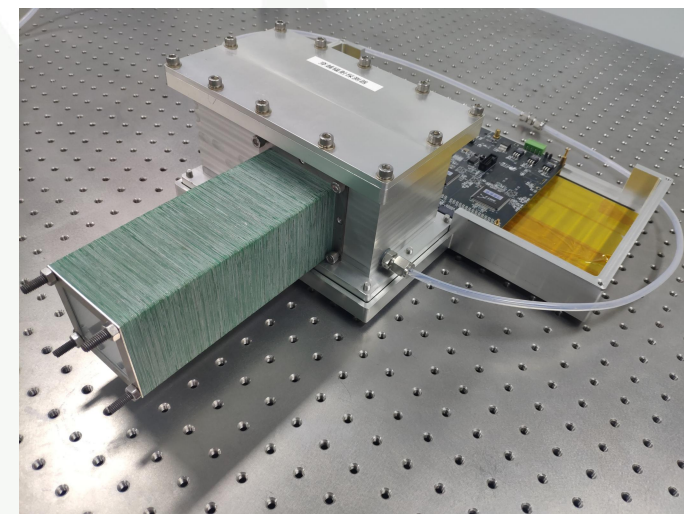


➤ 以提高探测TR光子数及降低电离本底为目的，实验组设计了侧窗式穿越辐射探测器原理样机

➤ TRD原理样机

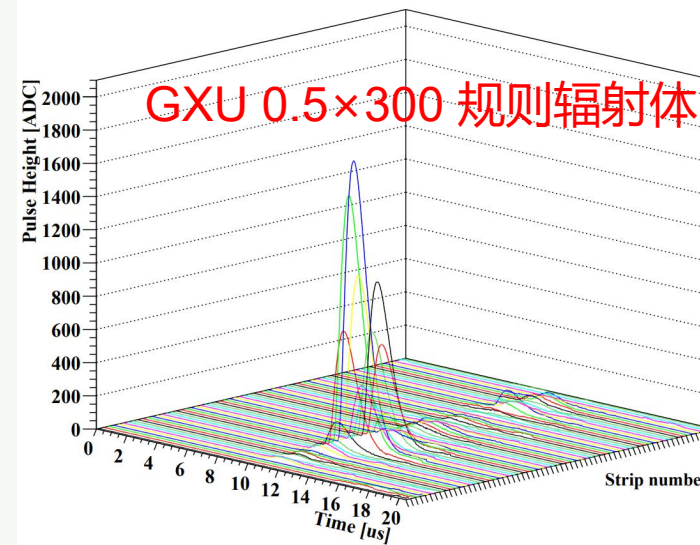
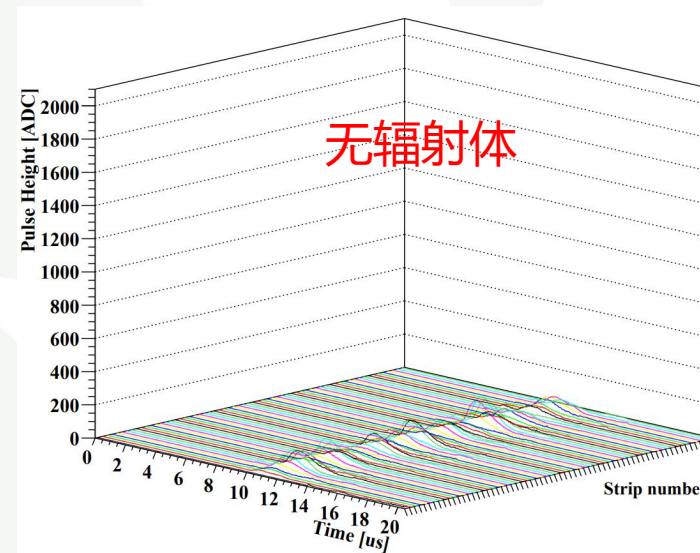
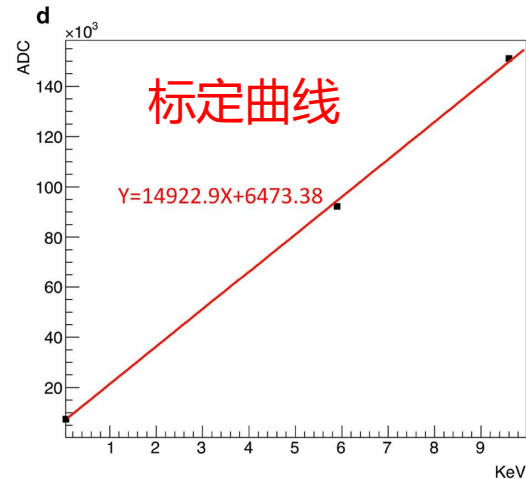
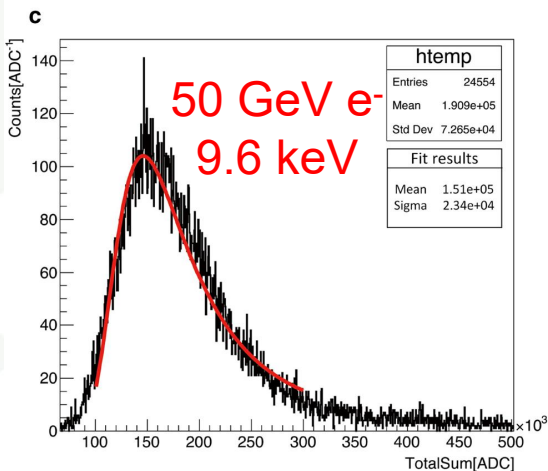
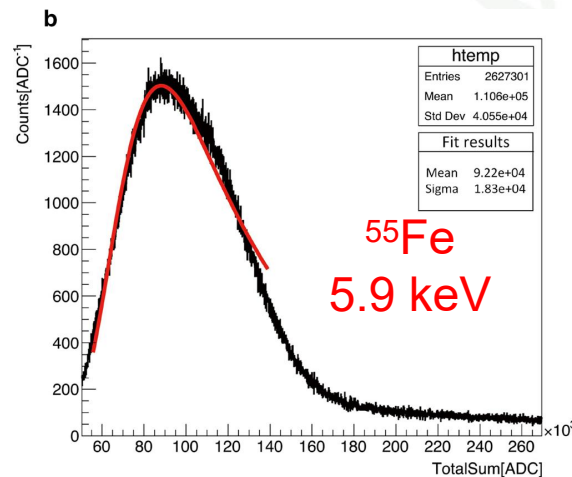
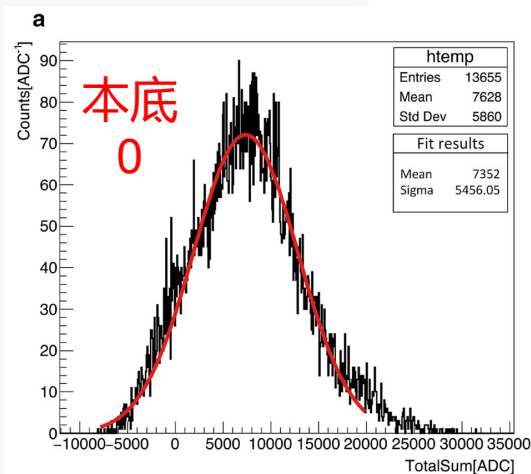
➤ 规则辐射体

➤ 64路条读出



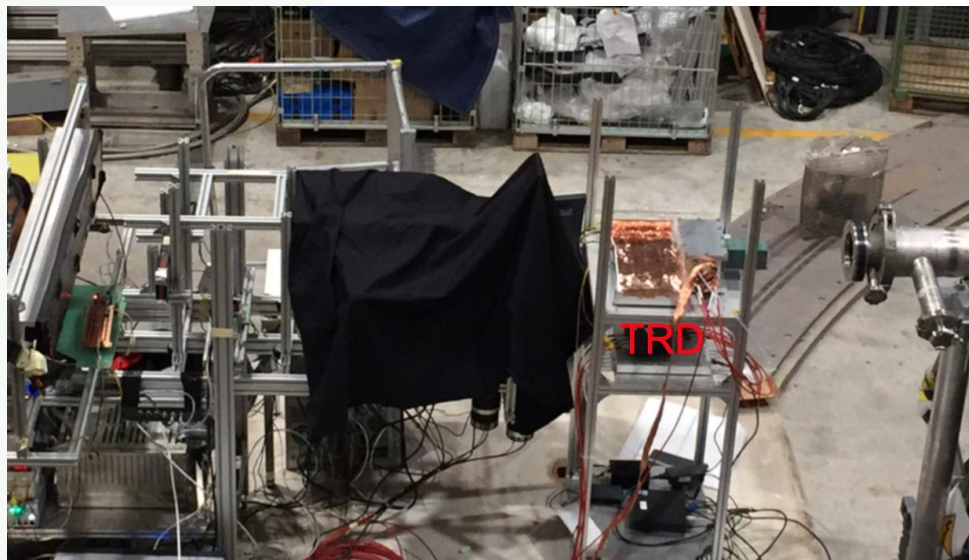


4.1 TRD原理样机测试



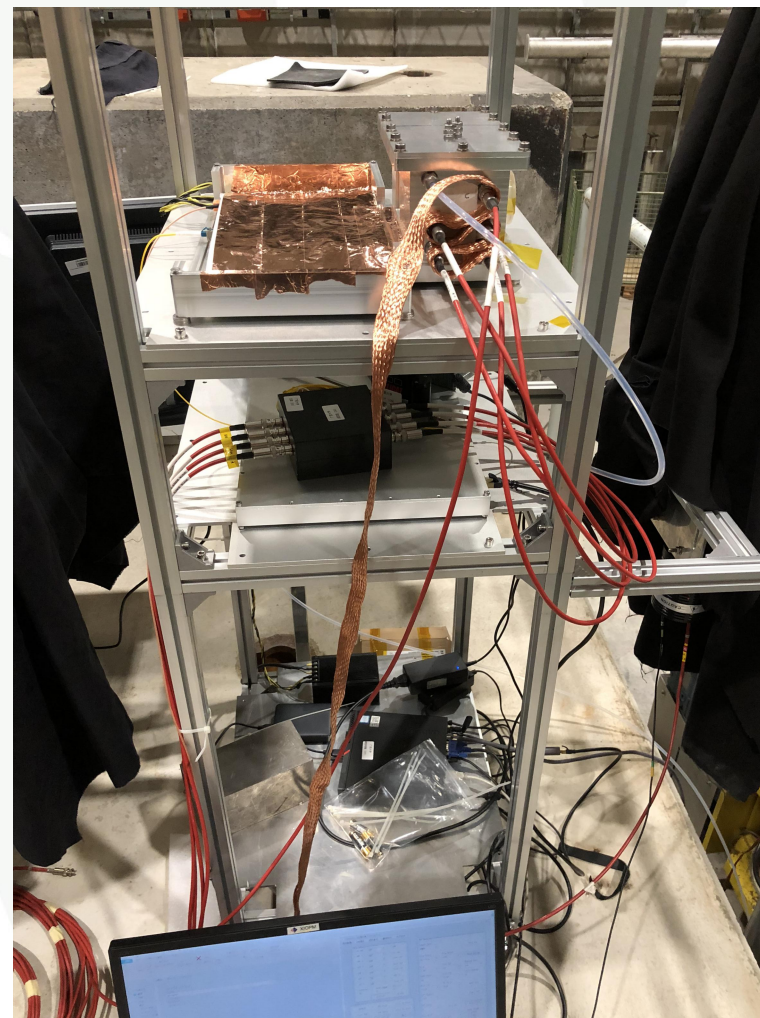


4.2 束流实验 @CERN



实验条件:

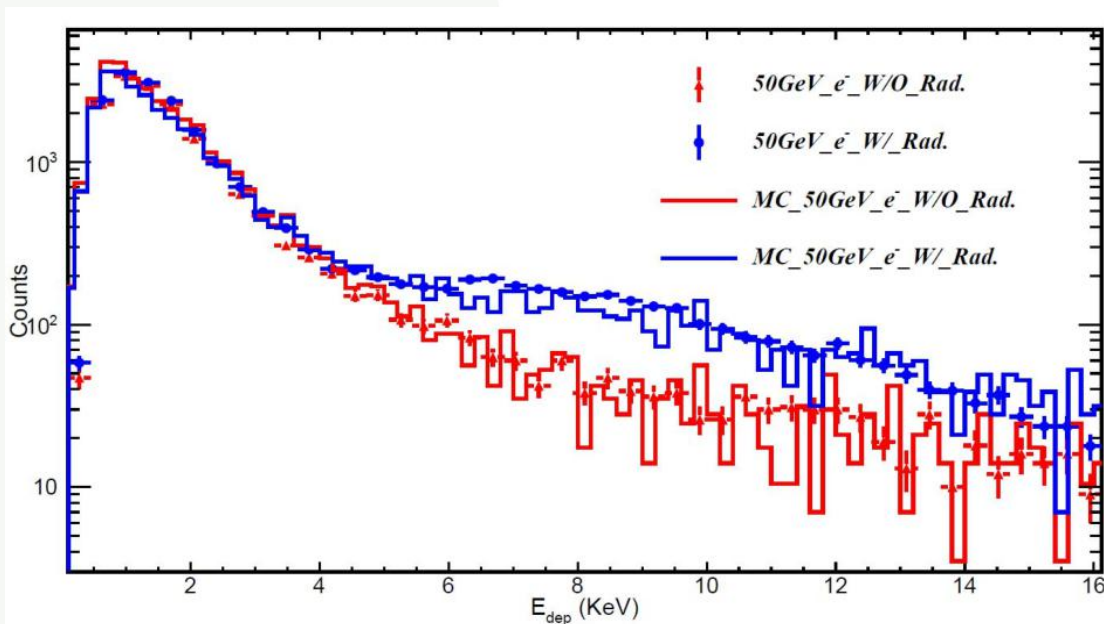
- 气体: Ne+10%CO₂
- 束流条件: 20 GeV@ e⁻
50 GeV@ e⁻
100 GeV@ e⁻
400 GeV@ p



[1]X. Liu et al., Side-on transition radiation detector (TRD) based on thgem, Radiation Detection Technology and Methods (2020) 1.

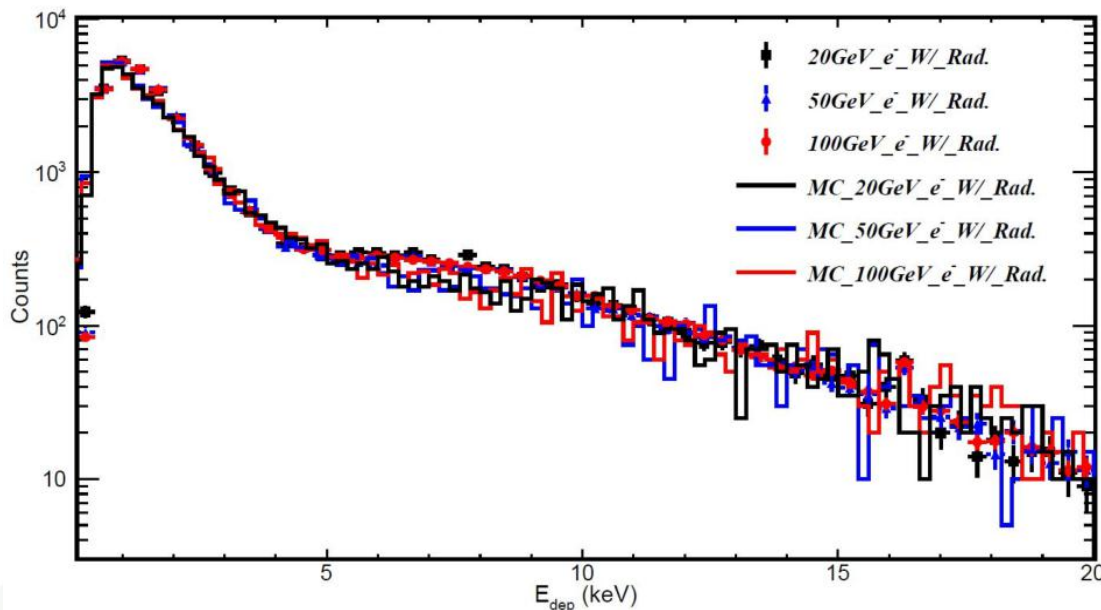


4.2 CERN束流实验结果



5cm 90%Ne+10%CO₂

➤ 50GeV电子观测到明显的TR信号



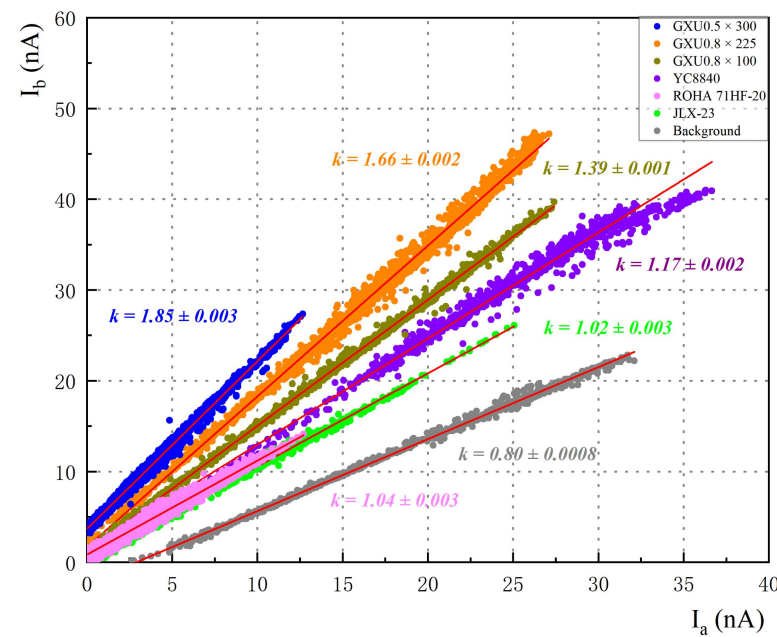
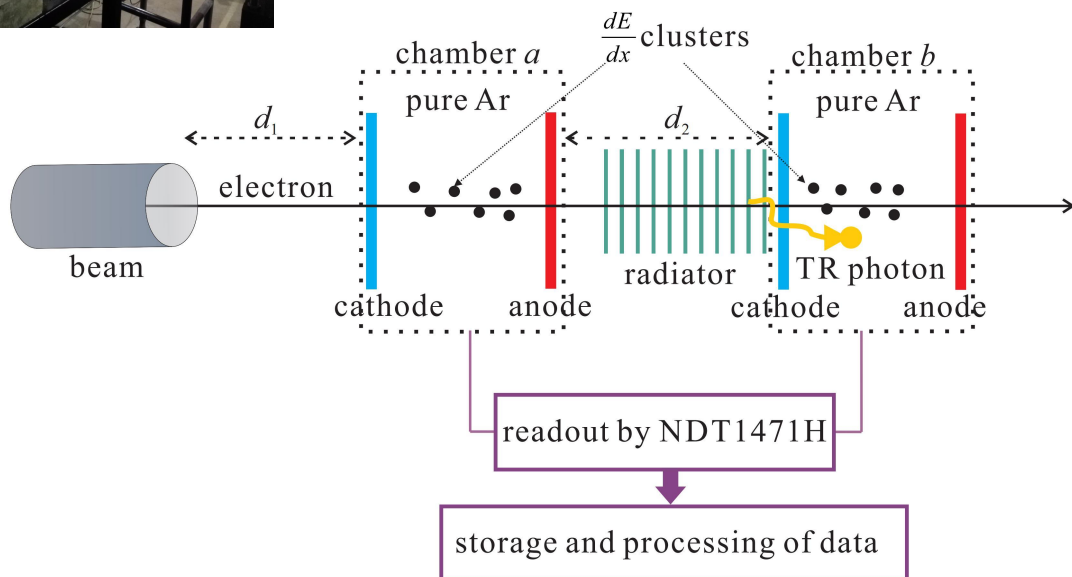
5cm 90%Ne+10%CO₂

➤ 20/50/100GeV电子的TR饱和效应

[2]B. Huang, H.et al., Side-on transition radiation detector: A detector prototype for tev energy scale calibration of calorimeters in space, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 962 (2020) 163723.



4.3 束流实验 @ IHEP

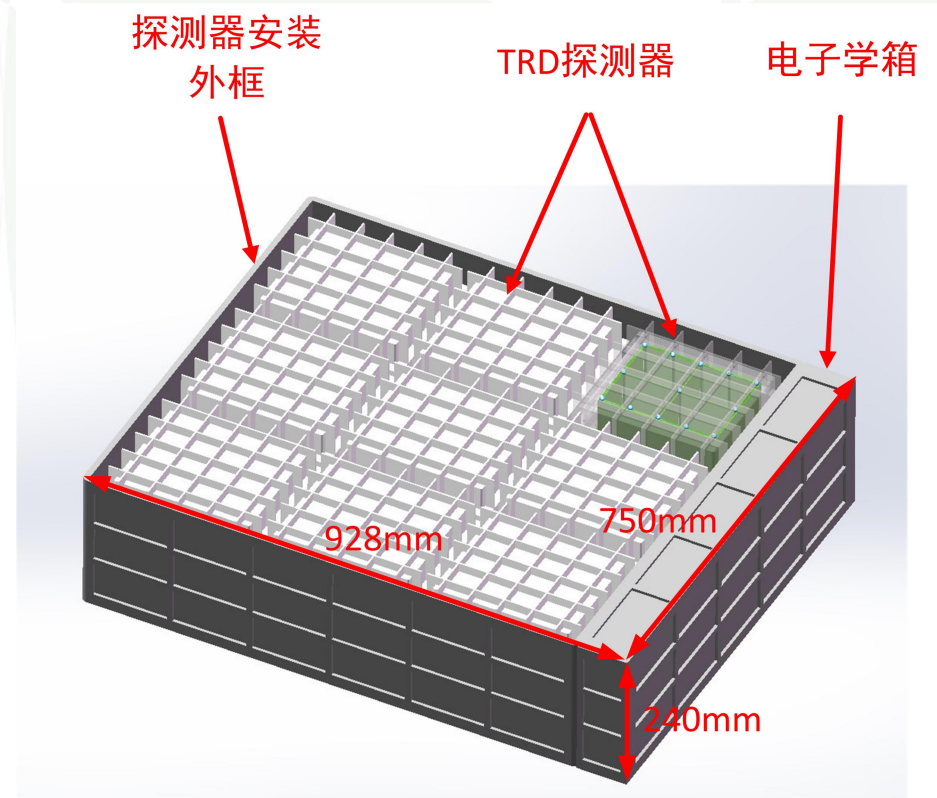
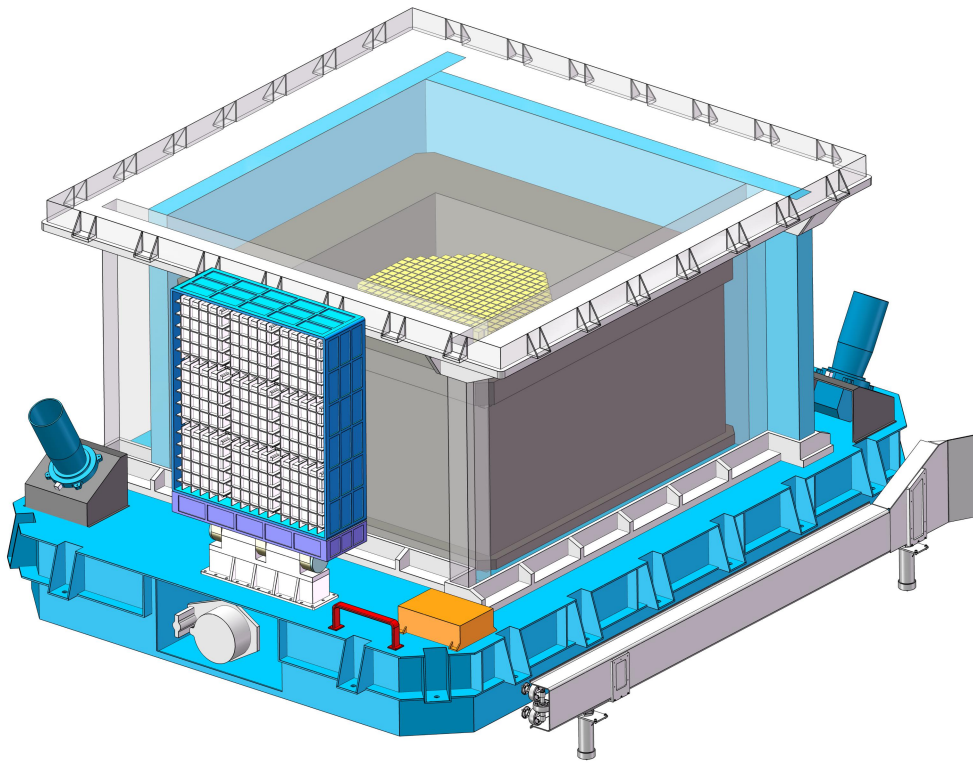


2019.12 @ IHEP, 2.5GeV electron

[3]Gu J, Liu H, Huang X, et al. The photon yield *efficiency* study of transition radiators at E2 line of Beijing Test Beam Facility[J]. Journal of Instrumentation, 2021, 16(08): P08041.

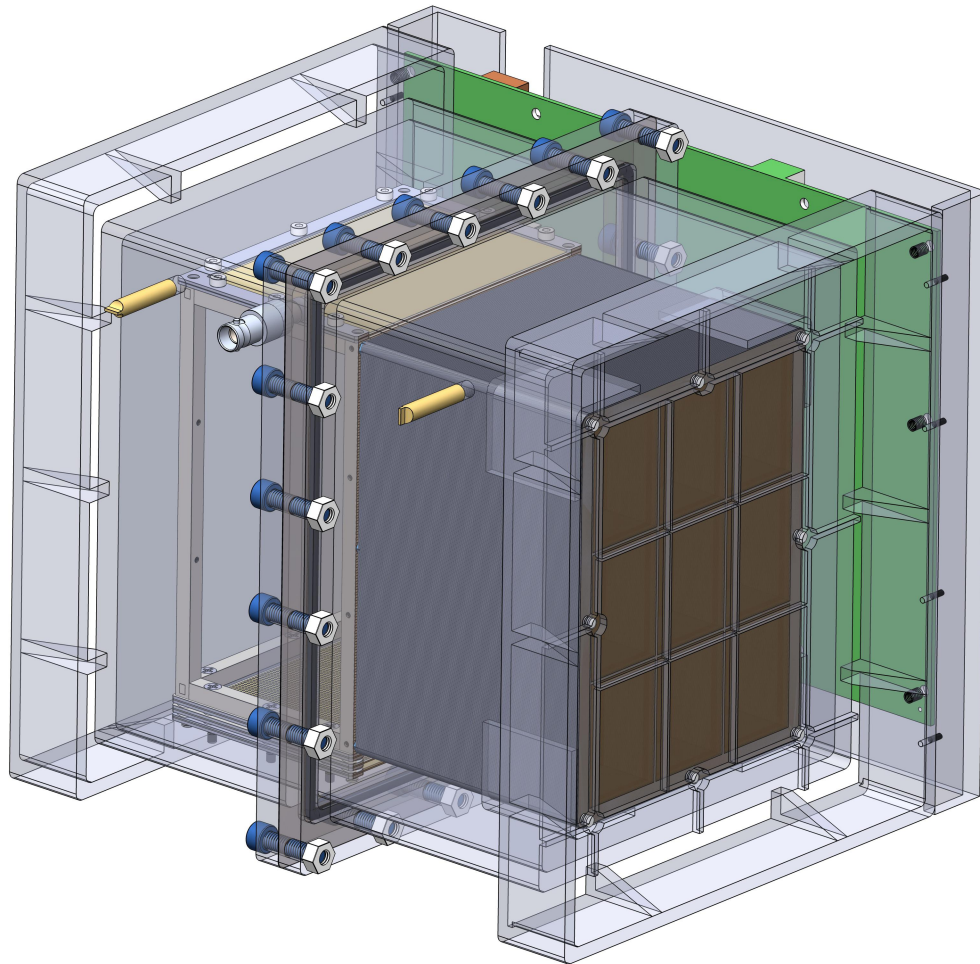


5 工程样机：共腔式穿越辐射探测器





5.1 工程样机：共腔式穿越辐射探测器



➤ TRD工程样机

➤ 辐射体内放置

- 减小无效区吸收
- 利于工程上的实现

➤ 对称读出方式

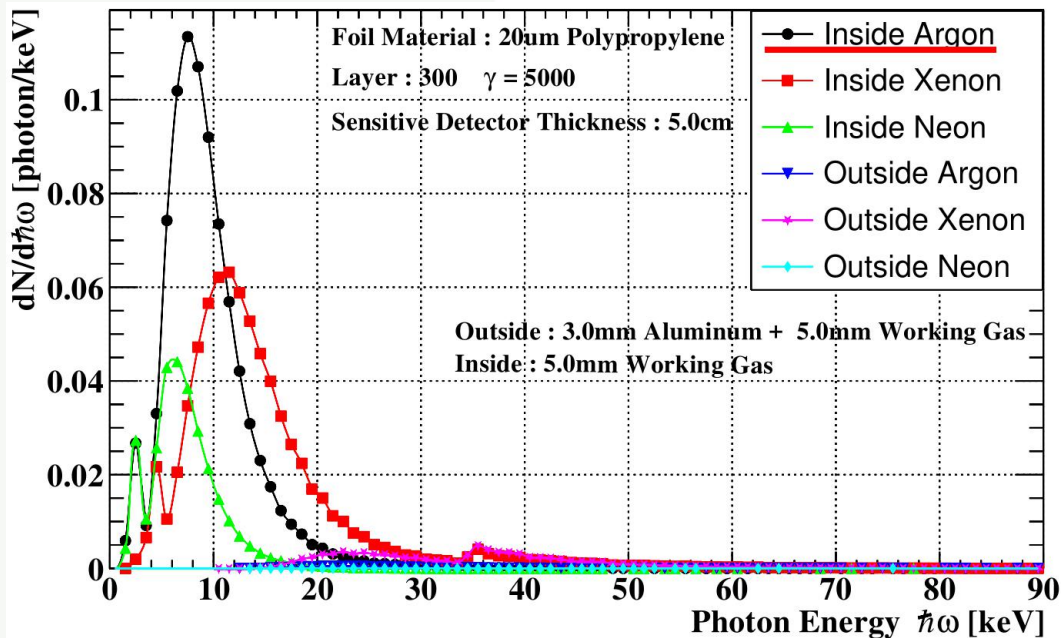
- 增大有效面积

➤ 电路板结构场笼

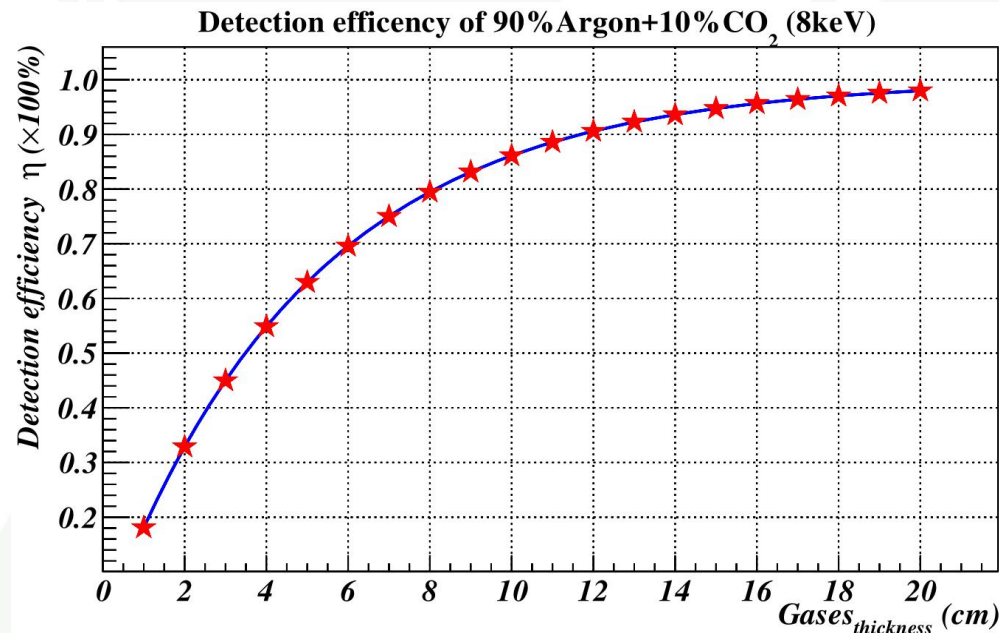
- 减小电场不均匀区厚度



5.2 TRD工程样机参数选择依据



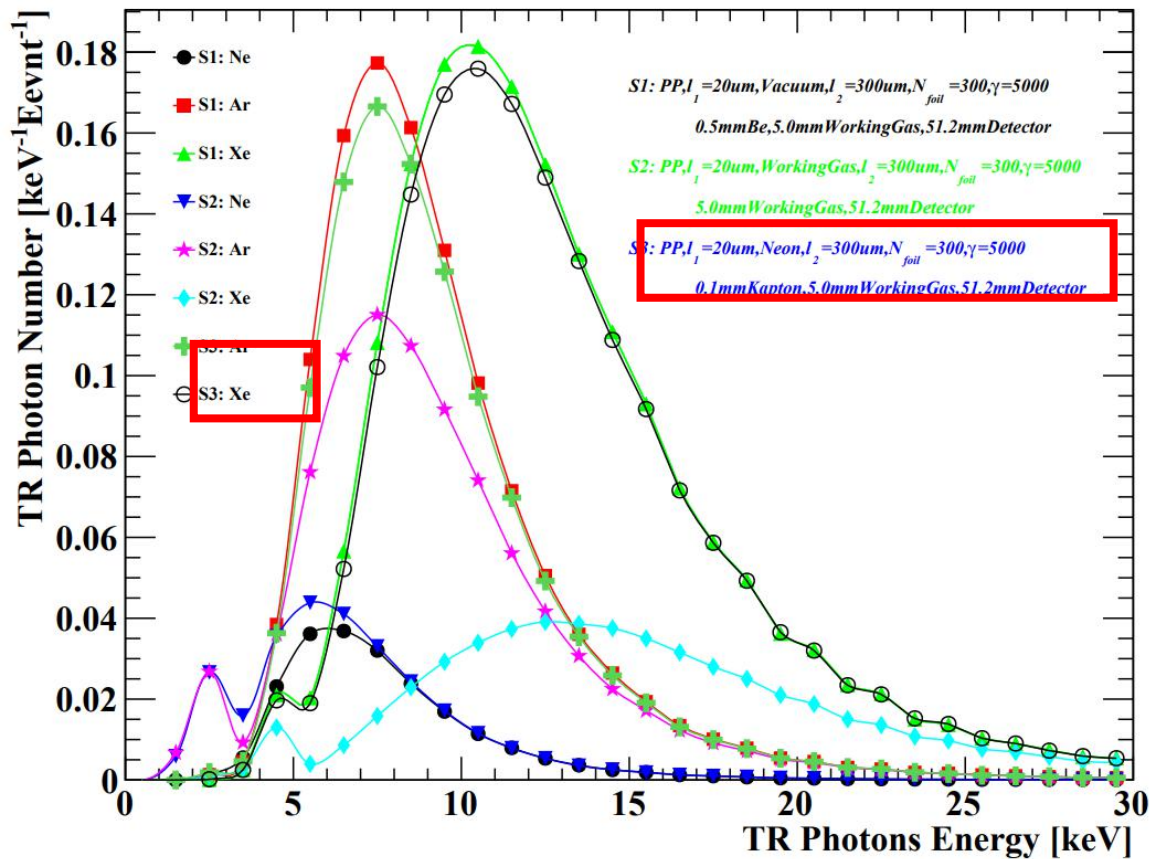
➤ 辐射体不同摆放方式对比



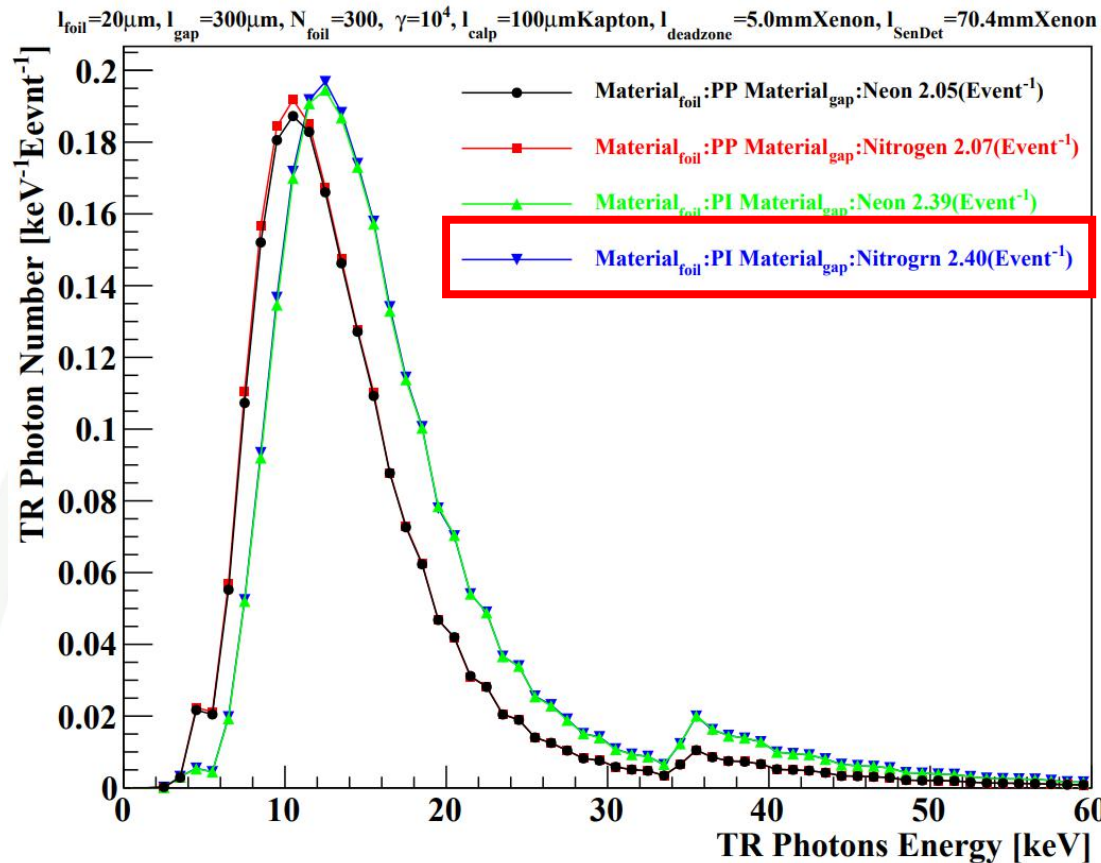
➤ X射线探测器灵敏厚度



5.3 TRD的气体选择



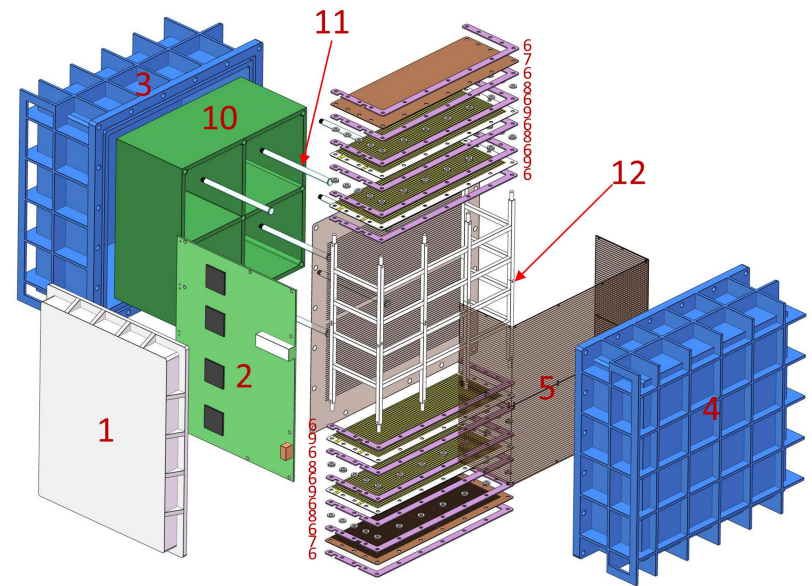
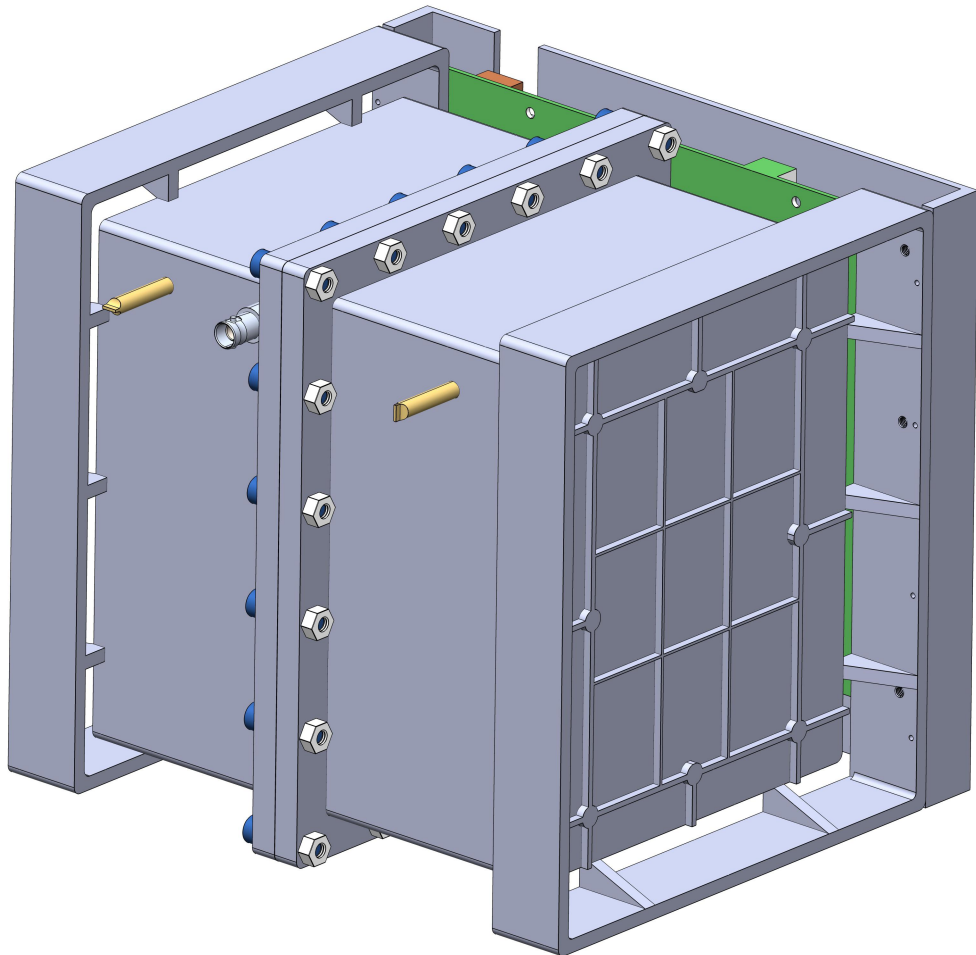
➤ X射线探测器气体的模拟



➤ 辐射体间隙气体的模拟



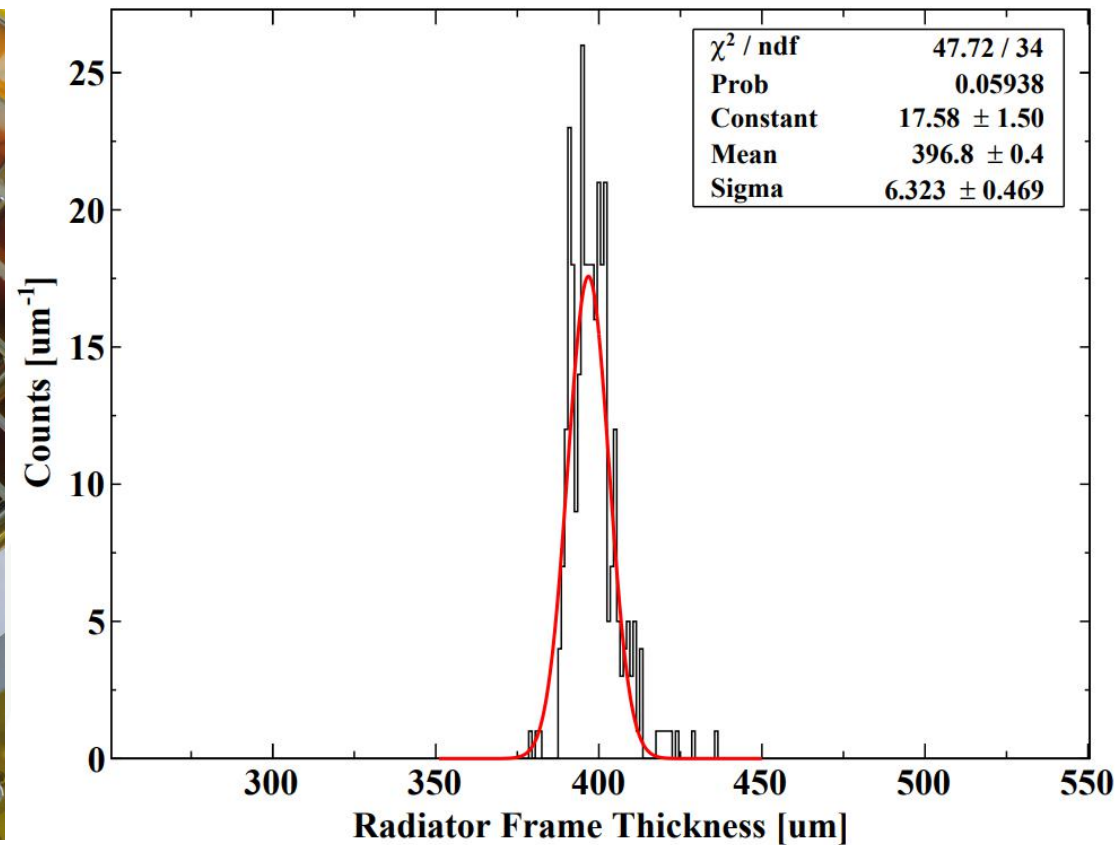
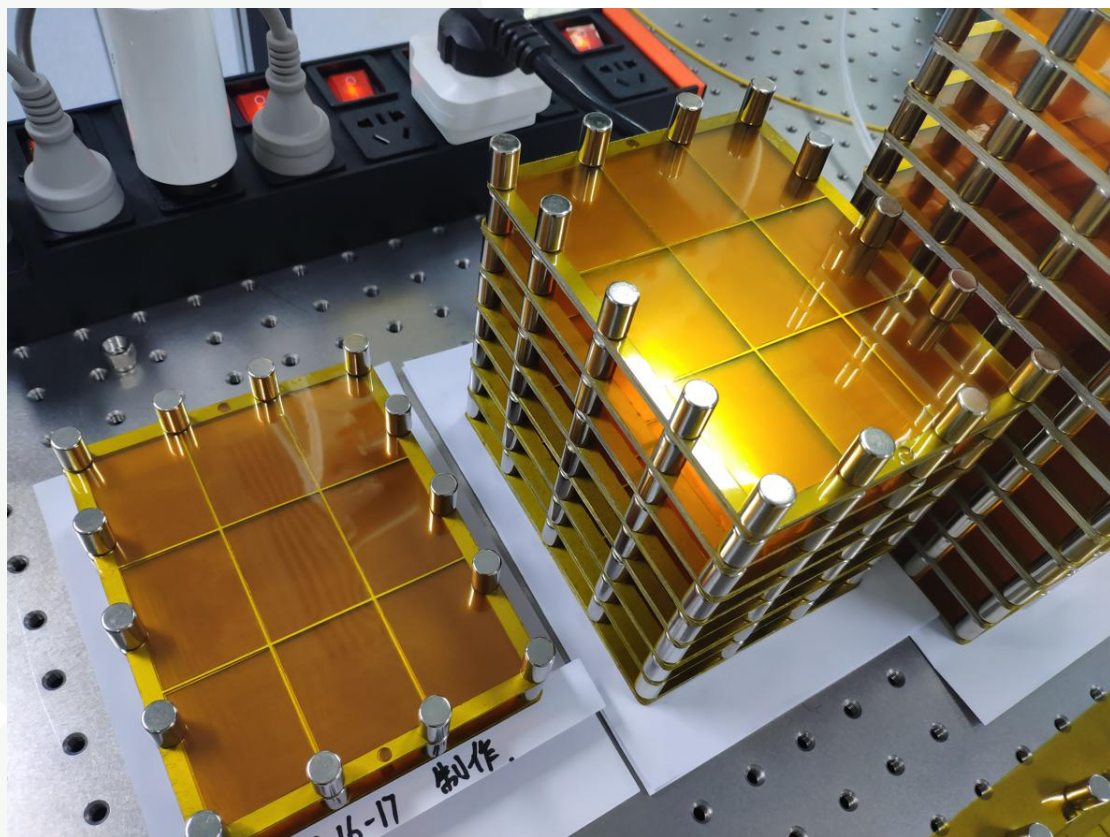
5.4 TRD结构初步设计



- 1.电子学箱：铝
- 2.前端电子学板：AGEAT、FPGA、高压模块
- 3.腔室（辐射体）：铝
- 4.腔室（X射线探测器）：铝
- 5.场笼：聚酰亚胺
- 6.支撑框：陶瓷/peek
- 7.阳极：聚酰亚胺
- 8.垫片：陶瓷，M4，1mm
- 9.THGEM：陶瓷
- 10.辐射体：PP（0.02mm），不锈钢（0.3mm）
- 11.辐射体支柱：陶瓷
- 12.场笼框架：陶瓷/peek



5.5 辐射体的制作





6 总结与展望

➤ 总结

- 目前实验组已使用TRD原理样机进行多次束流测试，实验结果都与理论预期吻合
- 在原理样机基础上，为提高能量标定精度，增加TR光子统计量，进一步优化了各项参数，并考虑工程上的实现以及航天要求，提出了侧窗共腔式对称读出结构穿越辐射探测器

➤ 未来计划

- 进一步优化工程样机的设计，完成新一版样机的各项性能测试。根据测试结果对探测器进行优化。

谢谢!