



束流监测器研制及其多学科应用

唐健

“CSNS白光中子多用途TPC物理”研讨会

2023年11月24日

中山大学广州南校园，十友堂

SMooth

SMOOTH实验室：陈羽、沈韩、黄臻成、徐宇、孙铭辰、余涛、胡碧莹、钟嘉豪、赵诗涵、宁云松、陈思远、白爱毓...
理论方向：张炳隆、林海星、高睿萱...



个人简介

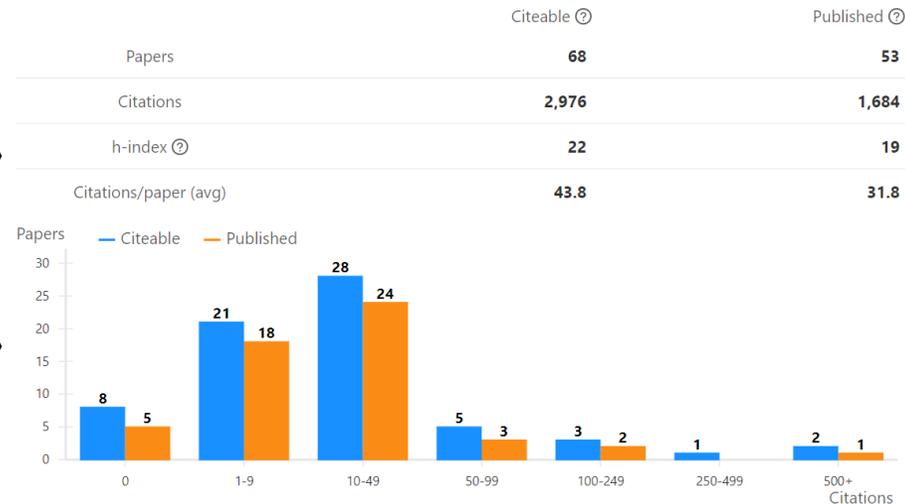
- 2008.09~2011.12 博士，德国，维尔茨堡大学，粒子物理与核物理专业
- 2012.02~2014.02 博士后，加拿大，阿尔伯塔大学
- 2014.02~2014.12 博士后，德国，马克斯普朗克物理研究所
- 2015.01~至今 中山大学“青年杰出人才”，物理学院，副教授→教授，博士生导师

课程教学

- 本科生专业必修课: 《光学》，《基础物理实验》《大学物理》
- 本科核心通识课程: 《神奇的粒子世界》
- 本科生专业选修课: 《开放物理实验》《物理建模与实验设计》

本科生培养

- 多次评为本科生科研项目优秀指导老师，指导本科生发表高水平期刊论文PRD,NST等。
- 担任物理学科竞赛指导教师，多年率队获得CUPT区域赛一等奖和国赛一等奖，实验竞赛一等奖。
- 2018级物理A班班主任，2020年获得中山大学“优秀班主任”称号。



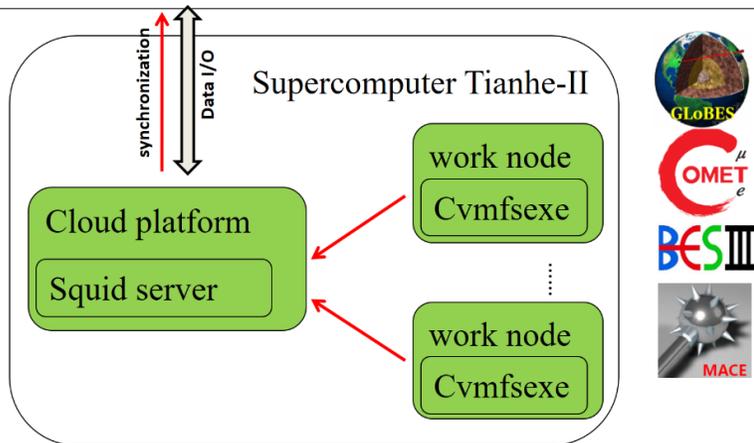
科研团队



- 当前团队成员：博士后1.5名，博士生3名，在读硕士生8名，本科生科研项目学生10+名，科研助理2名，电子学工程师1名，超算平台工程师1名.....
- 校内合作伙伴：物理实验中心，测试中心，超算中心，材料科学与工程学院等
- 校外合作伙伴：中科大电子学实验室，中国散裂中子源，中科院近代物理研究所等
- 国际合作伙伴：德国Mainz大学，日本Osaka大学和KEK，意大利INFN-Padova等

寻找超越标准模型新物理

Remote HEP Software repository: GLOBES, BOSS, ICEDUST, MACEsw...



依托超级计算机“天河二号”
建设粒子物理实验大数据平台

Bonding tests in SYSU



ICP-MS counting U-238 and Th-232

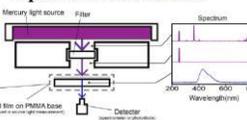


Item	Average	Methods for sample preparation		
		Method I	Method II	Method III
Recovery	0.24	< 1.09	< 4.97	0.39 ± 0.16
FWHM	0.20	< 13.4	< 8.88	0.77 ± 0.32
Weight of sample (g)	0.14	0.6	10	20
Counting time (s)	0.75	5	2.5	2

Acrylic bonding machine



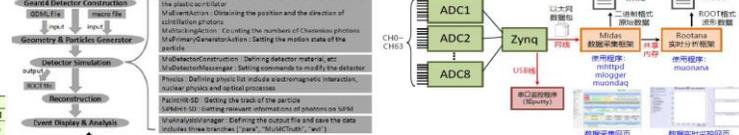
Optical measurement



Coating TPB and measuring WLSE
e-Print: [arXiv:1911.08897](https://arxiv.org/abs/1911.08897)
Nuclear Science and Techniques 31 (2020) no.3, 28

参与国际大科学合作实验
突破低本底探测器关键技术

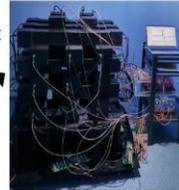
软件框架



性能测试



实时取数



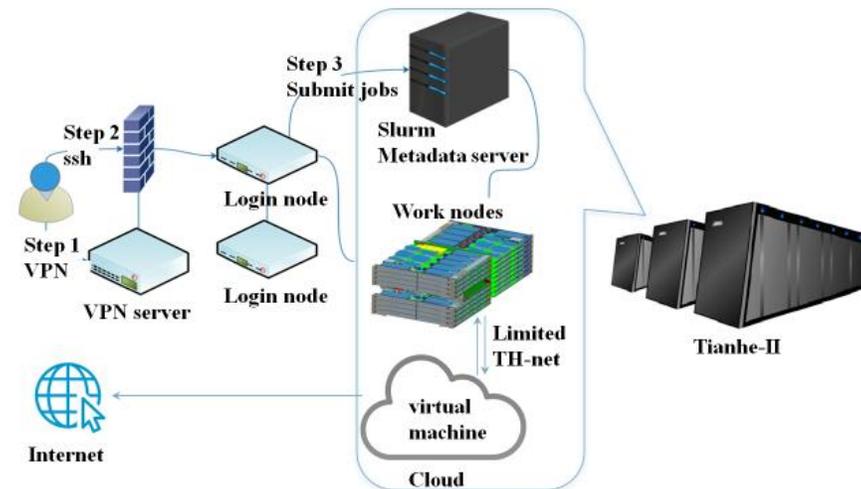
宇生缪子探测器

- ① 低压直流、低功耗
- ② 固体探测器、易部署
- ③ 多通道远程实时监控
- ④ 具备径迹重建能力

建设缪子前沿科学与技术应用实验室
积累探测器核心技术面向多学科应用

工欲善其事必先利其器，软件平台和硬件研发同步推进
→指方向，搭平台，组团队，续经费，育人才，出成果！

超算中心“天河二号”部署粒子物理实验大数据平台

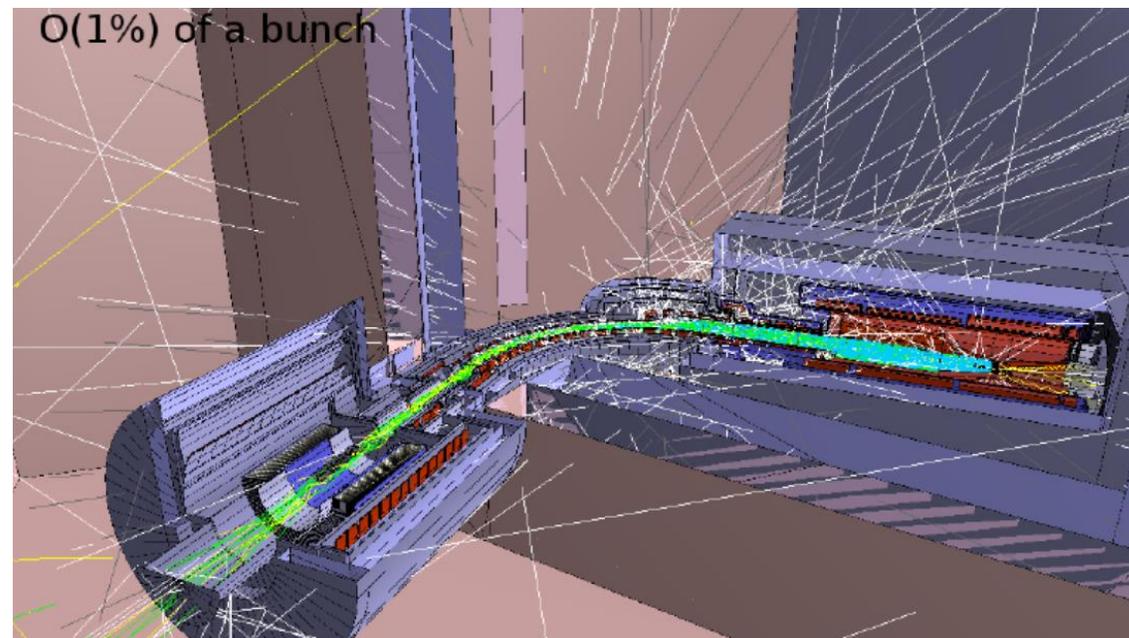


昔日的发现

→ 探究新物理的工具.....

国际影响力:

- (1) 国际会议邀请报告年均2次以上, ICHEP, ACAT等
- (2) 受邀担任国际研讨会 NuFact(2021-2023)分会场召集人



超算中心“天河二号”部署粒子物理实验大数据平台

Application of a supercomputer Tianhe-II in an electron-positron collider experiment BESIII*

Jing-Kun Chen,¹ Bi-Ying Hu,² Xiao-Bin Ji,³ Qiu-Mei Ma,^{3,†} Jian Tang,^{2,‡} Ye Yuan,^{3,4} Xiao-Mei Zhang,³ Yao Zhang,³ Wen-Wen Zhao,² and Wei Zheng³

¹School of Computer Science and Engineer, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510006, China

²School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275, China

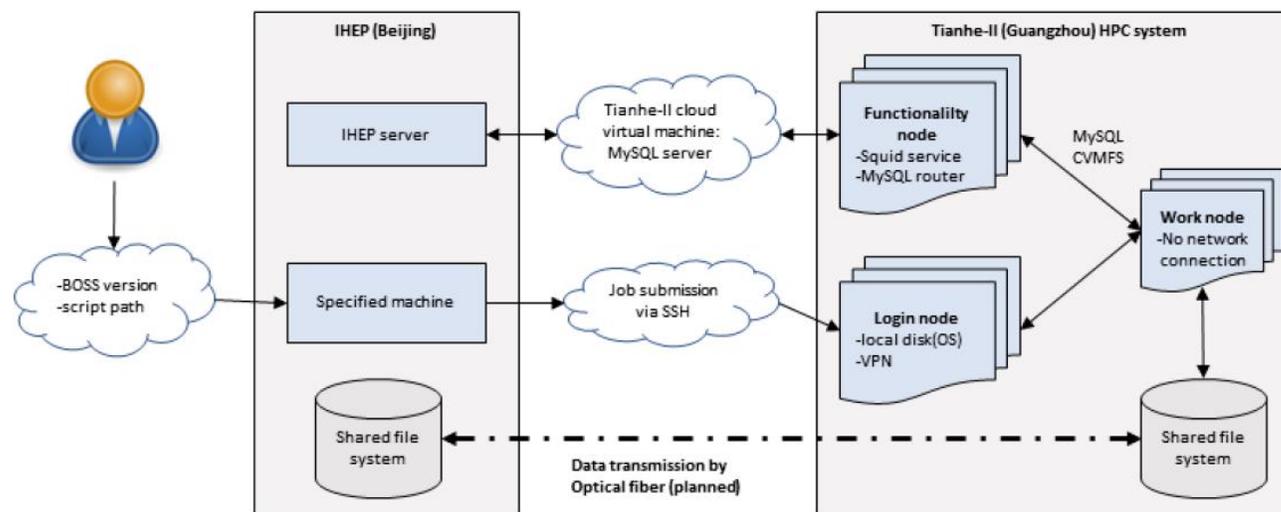
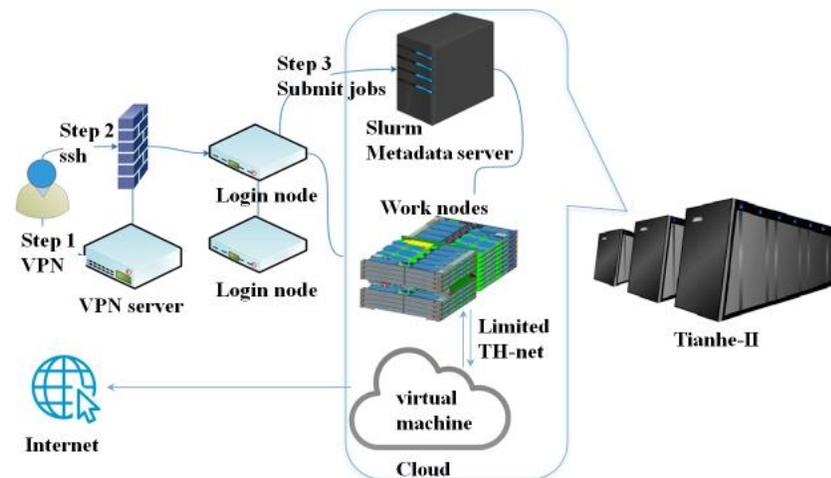
³Institute of High Energy Physics, Beijing, 100049, China

⁴University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China

Precision measurements and new physics searches require massive computation in high energy physics experiments. Supercomputer remains one of the most powerful computing resources in various areas. Taking the BESIII experiment as an illustration, we deploy the offline software BOSS into the top-tier supercomputer "Tianhe-II" with the help of Singularity. With very limited internet connection bandwidth and without root privilege, we synchronize and maintain the simulation software up to date through CVMFS successfully, and an acceleration rate in a comparison of HPC and HTC is realized for the same large-scale task. We solve two problems of the real-time internet connection and the conflict of loading locker by a deployment of a squid server and using fuse in memory in each computing node. We provide a MPI python interface for high throughput (HT) parallel computation in Tianhe-II. Meanwhile, the program to deal with data output is also specially aligned so that there is no queue issue in the input/output (I/O) task. The acceleration rate in simulation reaches 80%, as we have done the simulation tests up to 15K processes in parallel.

Keywords: High Performance Computer, Collider experiment, IO solutions

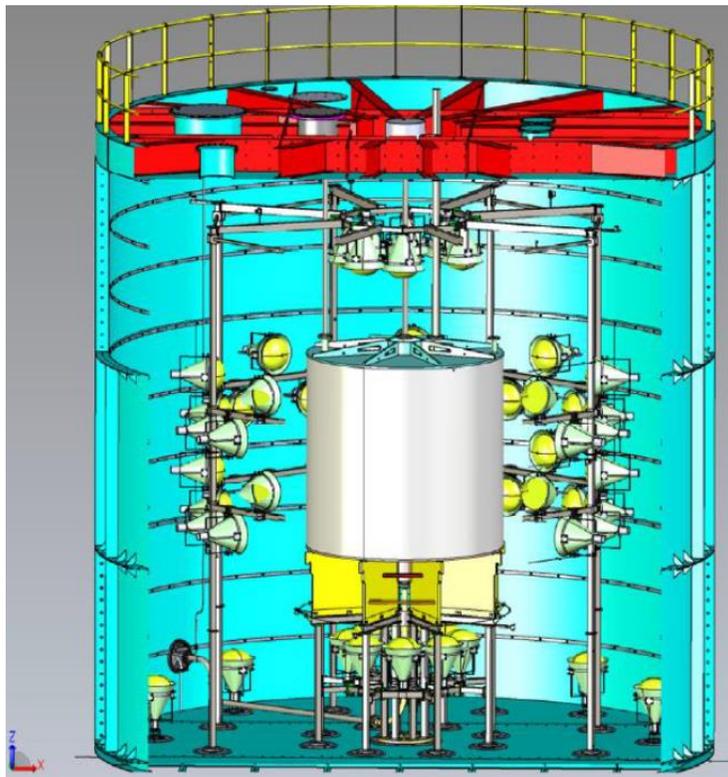
[JINST 18 \(2023\) 03, T03003](#)



突破中微子实验探测器关键技术

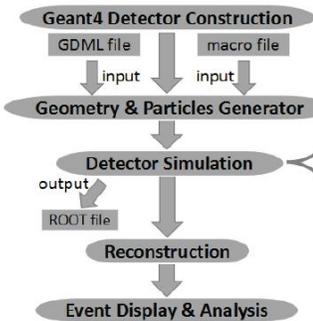
- 技术应用:

- (1) 世界上最大的有机玻璃球形探测器，直径35.4米，厚度12厘米，重约600吨
解决支撑节点强度不足的工艺问题，满足苛刻的物理需求。
- (2) **国际大科学工程**江门中微子实验采用中山大学开发的工艺技术
- (3) **成功研制并交付**同类型探测器，监测液闪痕量级同位素Rn-222

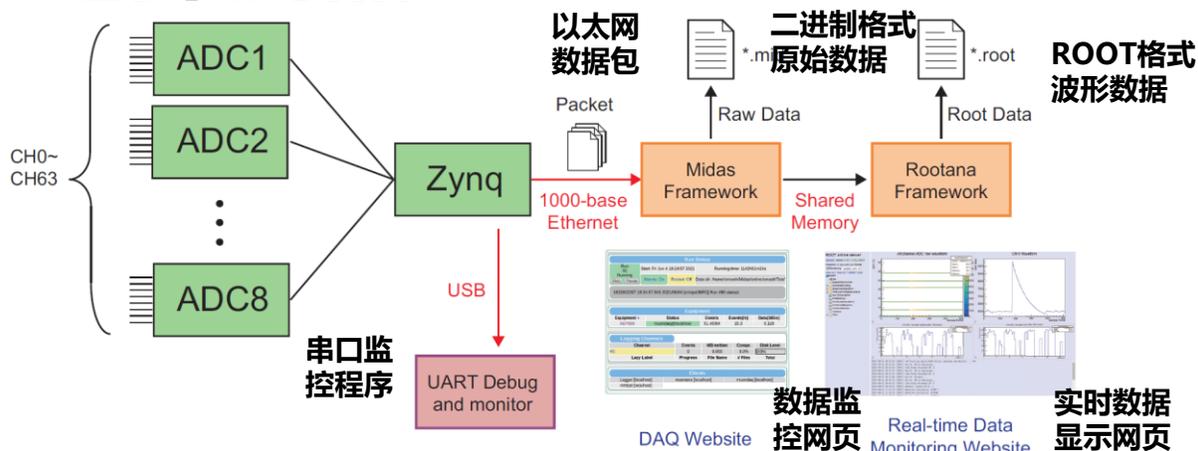


宇生缪子径迹探测器MuGrid

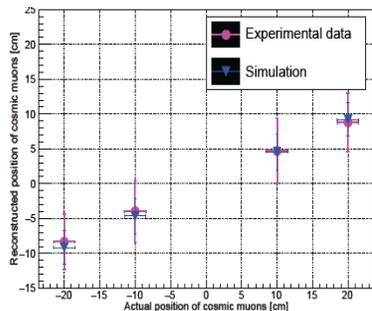
MC模拟



MuRunAction : Getting the geometric and property parameters of the plastic scintillator
 MuEventAction : Obtaining the position and the direction of scintillation photons
 MuStackingAction : Counting the numbers of Cherenkov photons
 MuPrimaryGeneratorAction : Setting the motion state of the particle
 MuDetectorConstruction : Defining detector material, etc
 MuDetectorMessenger : Setting commands to modify the detector
 Physics : Defining physic list include electromagnetic interaction, nuclear physics and optical processes
 PscintHit-SD : Getting the track of the particle
 SiPMHit-SD : Getting relevant informations of photons on SiPM
 MuAnalysisManager : Defining the output file and save the data includes three branches ("para", "MuMCTruth", "evt")



性能测试



自研电子学板

径迹重建

多通道宇生缪子探测器

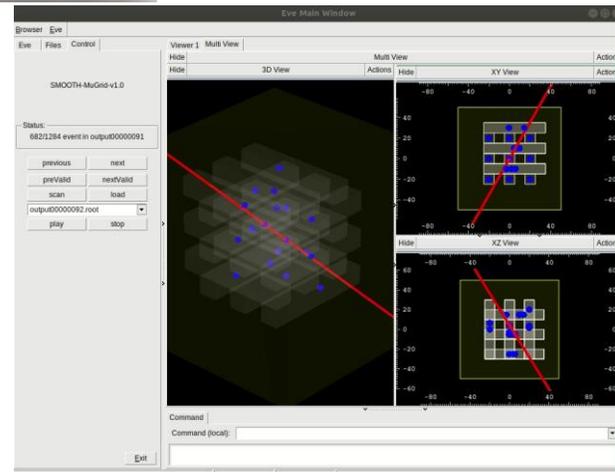
- ① 低压直流、低功耗
- ② 固体探测器、易部署
- ③ 多通道远程实时监控
- ④ 具备径迹重建能力

实时取数

(a)

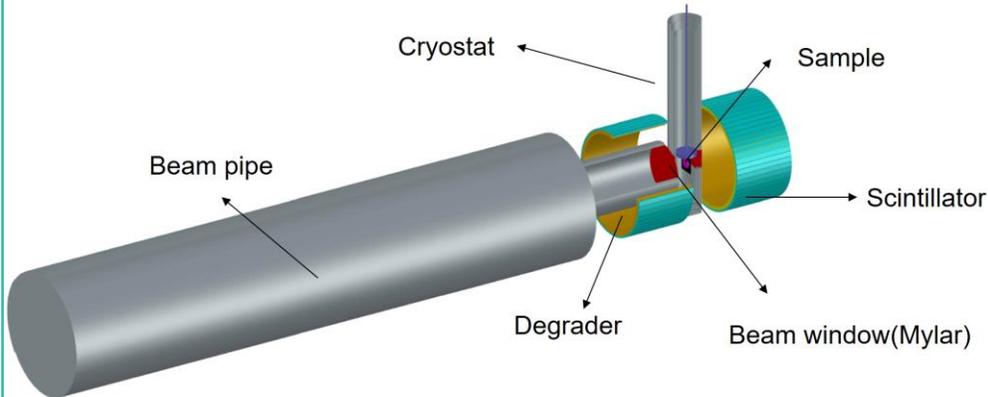


(b)

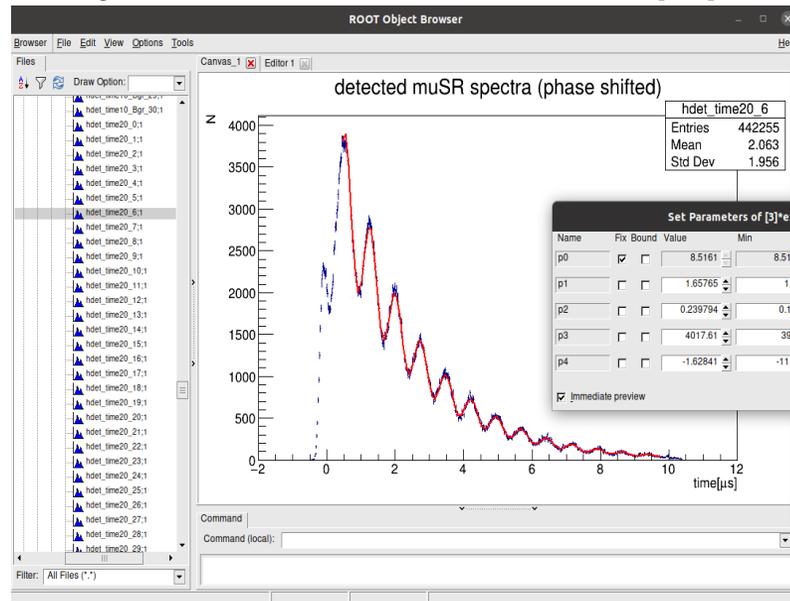


μ SR谱仪的设计和模拟

- Two detector rings, degraders, a cryostat, and a beam pipe.

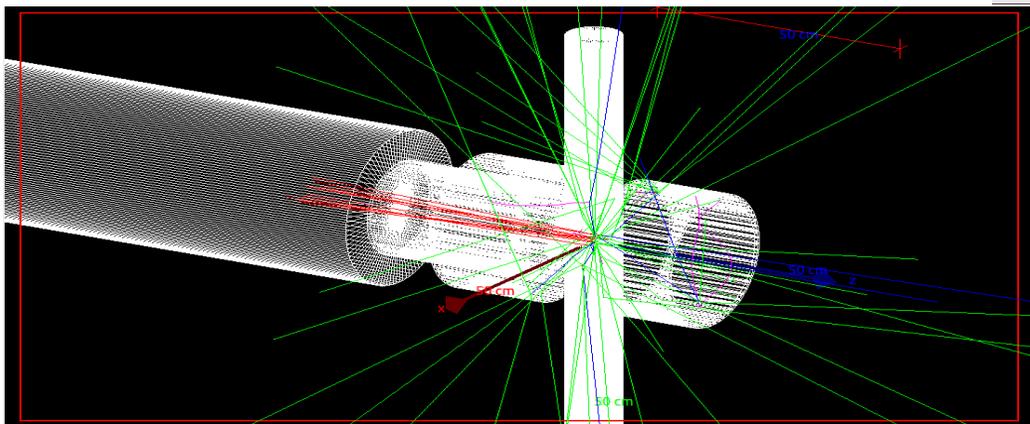


谱仪的CAD设计

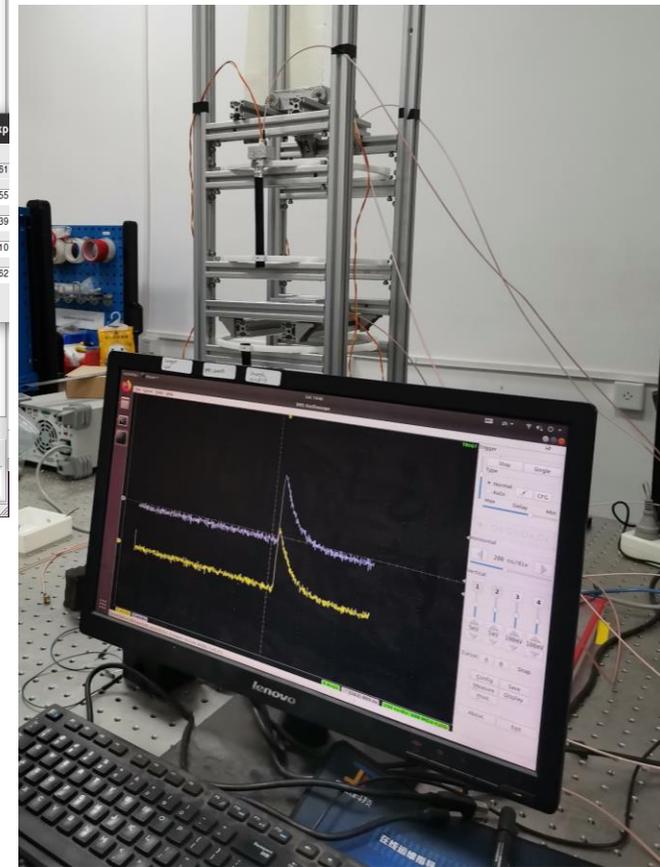


模拟数据分析和拟合

Credits: 周逸行



谱仪MC模拟和仿真

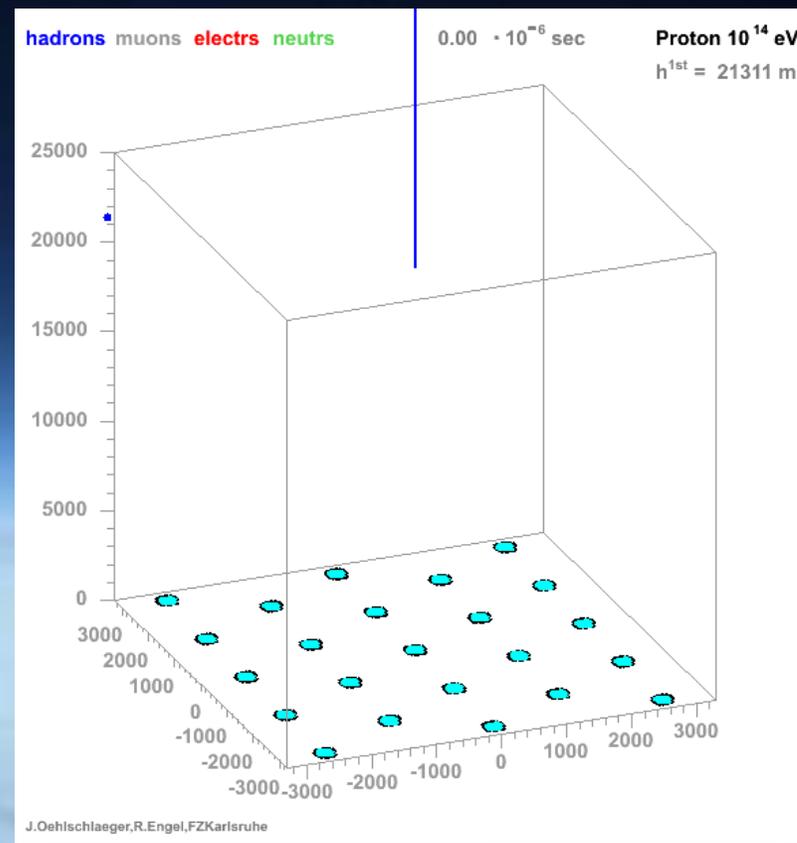
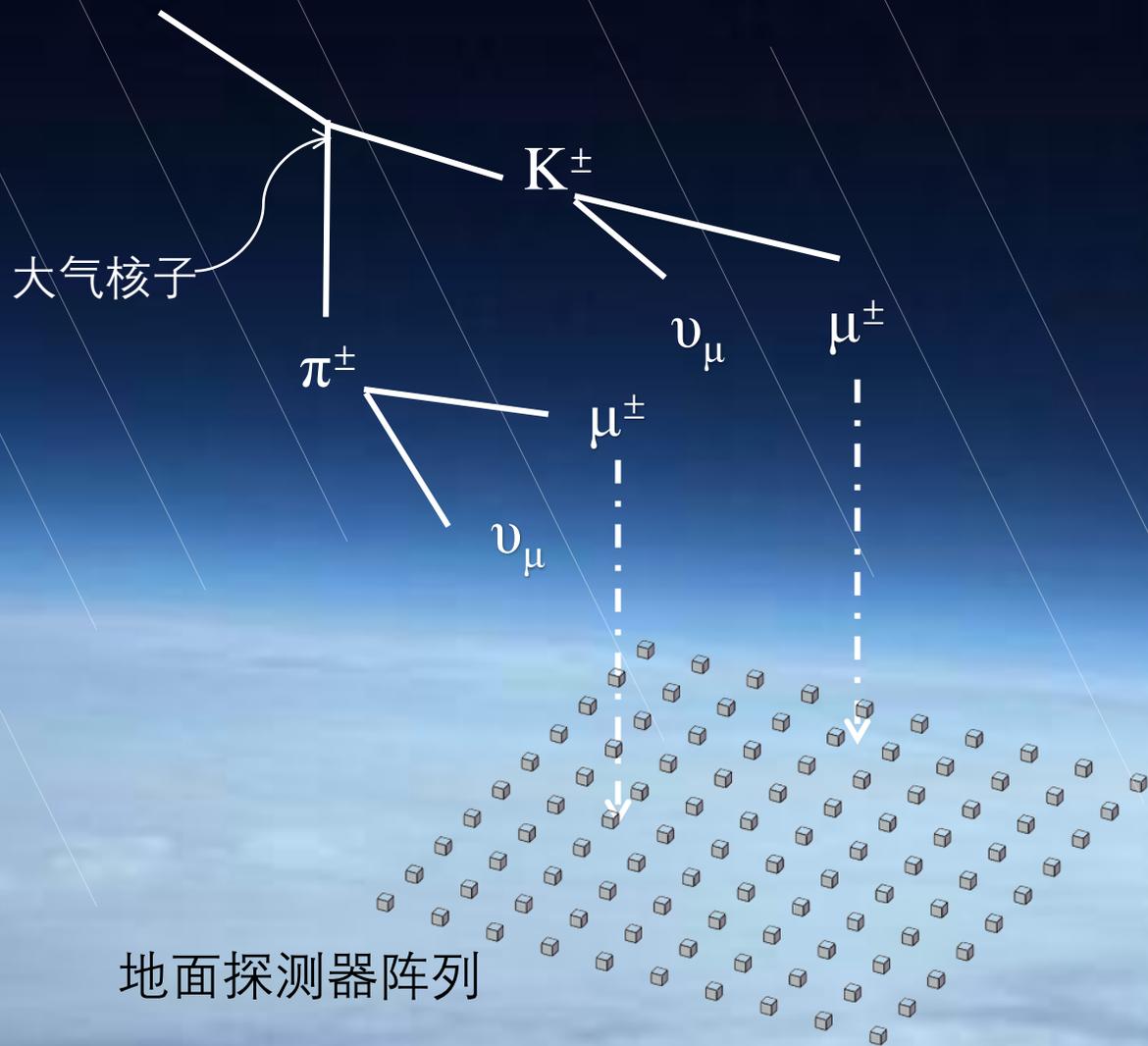


谱仪prototype的研制

小型化

宇宙线缪子探测器

宇宙线(74%p⁺,18%He⁺⁺,...)

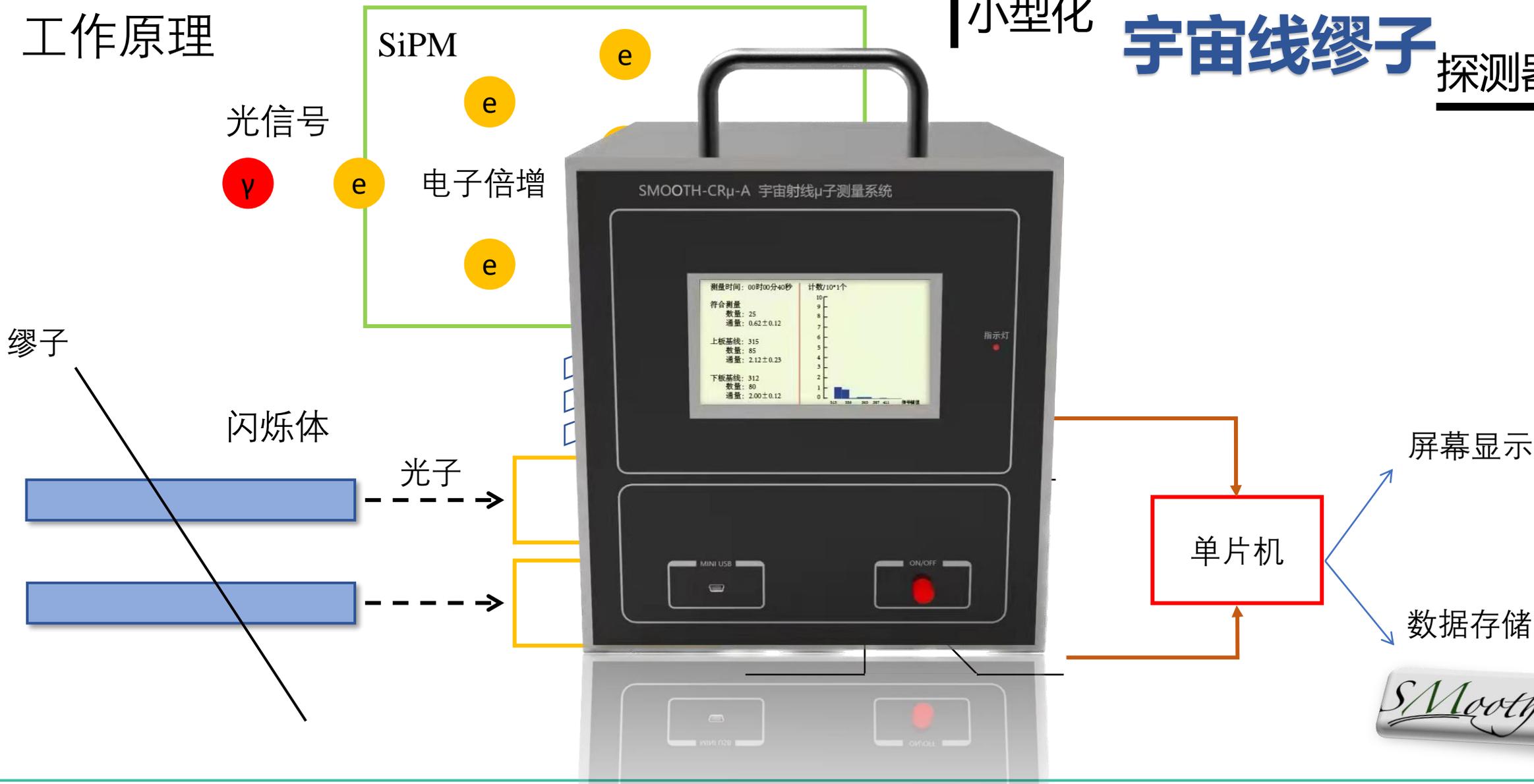


小型宇生缪子探测器的研制: SMOOTH-CR μ

小型化

宇宙线缪子探测器

工作原理



小型宇生缪子探测器的研制: SMOOTH-CR μ

小型化 宇宙线缪子 探测器



远程数据传输



GPS定位



缪子

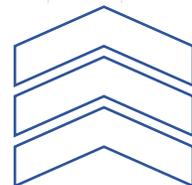


基站

数据上传

2023-08-03 11:11:38.506701	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2306N	11317E
2023-08-03 11:11:41.480237	NULL	341	387	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:11:45.182682	NULL	320	377	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:11:49.388721	4383	NULL	NULL	1059	0	NULL	NULL
2023-08-03 11:11:50.310038	NULL	341	314	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:11:54.474593	NULL	330	385	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:11:58.308499	NULL	372	321	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:00.905770	4394	NULL	NULL	1062	0	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:04.170956	NULL	396	307	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:06.767346	NULL	311	334	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:10.852105	NULL	318	386	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:11.634761	4405	NULL	NULL	1065	0	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:14.666927	NULL	321	324	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:18.927260	NULL	373	303	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:22.830663	4416	NULL	NULL	1067	0	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:24.109443	NULL	304	381	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:27.898041	NULL	361	394	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:32.374202	NULL	323	381	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:33.980902	4427	NULL	NULL	1070	0	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:36.625741	NULL	371	329	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:40.069296	NULL	308	340	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:44.746863	NULL	372	309	NULL	NULL	NULL	NULL
2023-08-03 11:12:44.969175	4438	NULL	NULL	1073	0	NULL	NULL

数据库



云服务器





社会服务

中国物理学会
Chinese Physical Society

中国物理学会科普演讲团

专家证书

唐健

中山大学

中国物理学会
2022年12月

众美图图书馆

东莞市众美中学
众美大讲堂
第1期（总第55期）
演讲题目：《神奇的粒子世界》
地点：图书馆三楼学术报告厅

2023年
9月9日
上午10:00

内容概要：物质世界由什么组成，又是如何组成？什么是“上帝粒子”？什么是中微子？如何寻找暗物质？大到宇宙演化的奥秘，小到水分子的微观结构，抑或是质子中子内部诡异的夸克禁闭，该报告将带领大家一起探寻神奇的粒子世界。

演讲嘉宾
唐健博士
中山大学教授
博士生导师

2011年底毕业于德国维尔茨堡大学，获理学博士学位，曾荣获国家优秀留学生奖学金，先后在加拿大阿尔伯塔大学和德国马克斯普朗克物理研究所从事博士后研究工作。2015年，以中山大学“百人计划二期”青年杰出人才归国工作，参与多个国际合作粒子物理实验（如JUNO，COMET等），担任国际学术研讨会NuFact分会场主席，担任Phys.Rev.Lett.，Phys.Rev.D，Chinese Physics C等期刊审稿人，已完成多项国家级和省部级科研项目，主持国家自然科学基金和广东省自然科学基金面上项目等，2019年和2020年被评为中科院粒子物理前沿卓越创新中心“青年优秀人才”。多次获得中山大学物理基地班本科生科研项目“优秀指导老师”，2020年荣获“中山大学优秀班主任”，2021年参加全国高等学校物理基础课程青年教师讲课比赛，荣获广东赛区二等奖。

聘书

兹聘请唐健同志担任物理实验杂志“前沿导读”栏目专家，聘期贰年。

栏目主编 张富祝

物理实验杂志
2023年1月1日

LETTER OF APPOINTMENT

GRANTED TO

Professor Jian Tang (唐健)
Sun Yat-sen University, China

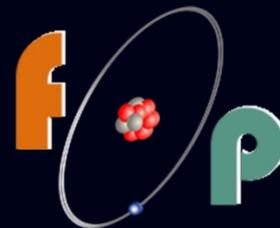
For your appointment as a Member of Youth Editorial Board, the journal *Frontiers of Physics* (FOP), from June 1, 2022 to June 30, 2024.

Editor-in-Chief: Jun He

Co-Editors: Lei Liao, Zhi-Min Liao, Jie Meng, Qi-Hua Xiong, Chen-Dong Zhang

Higher Education Press Springer

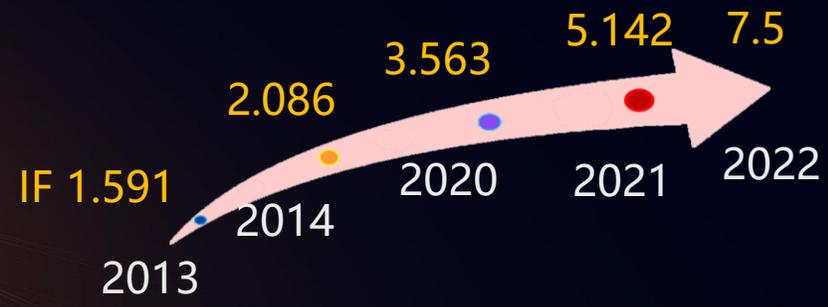
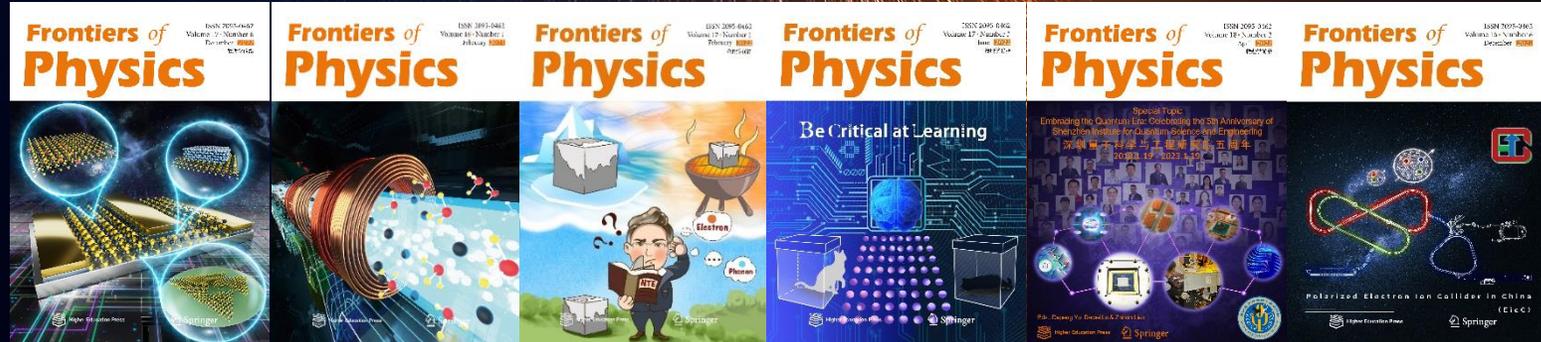
Frontiers of Physics



——评述物理学研究进展，报道科学新发现和前沿新成果

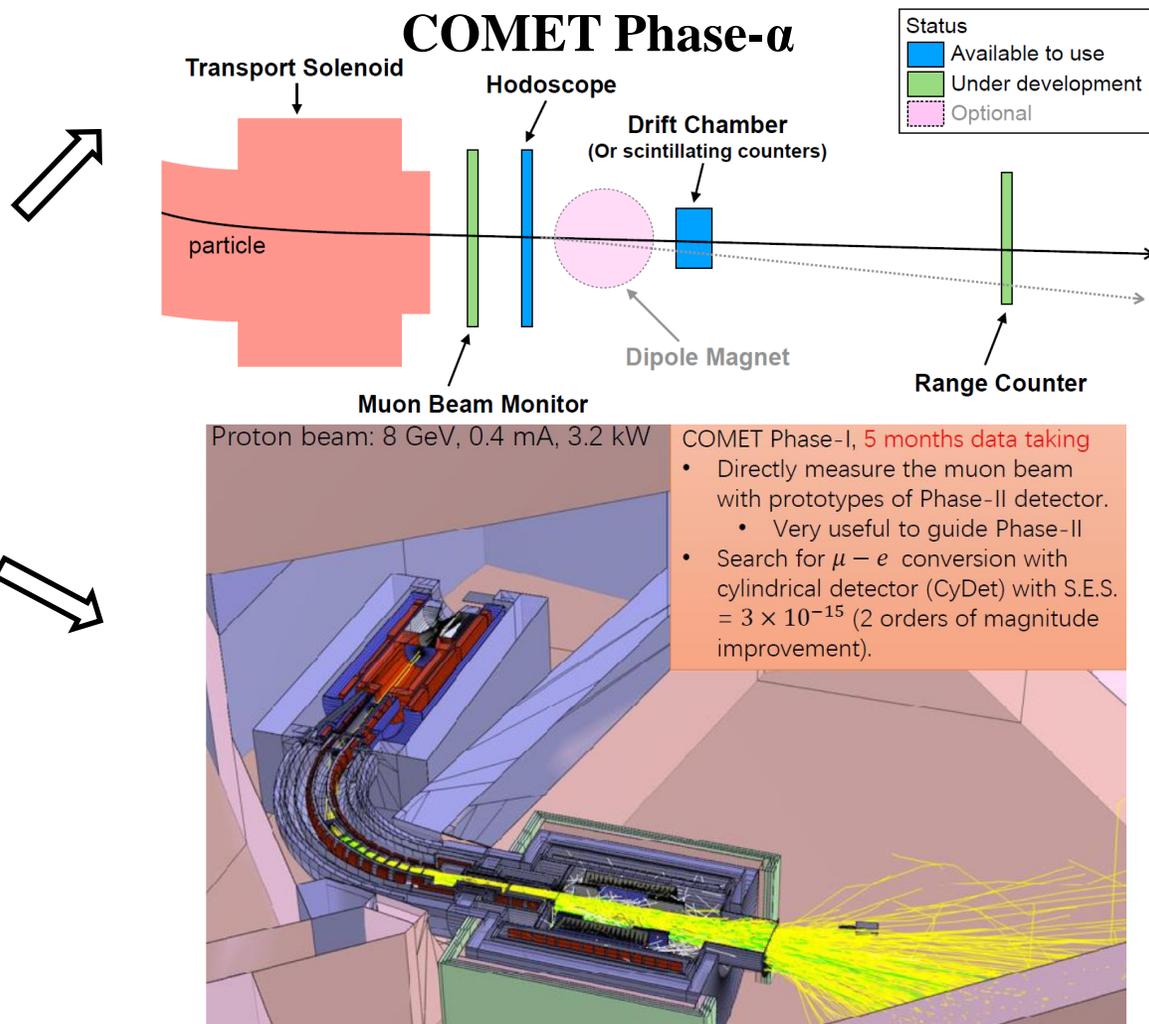
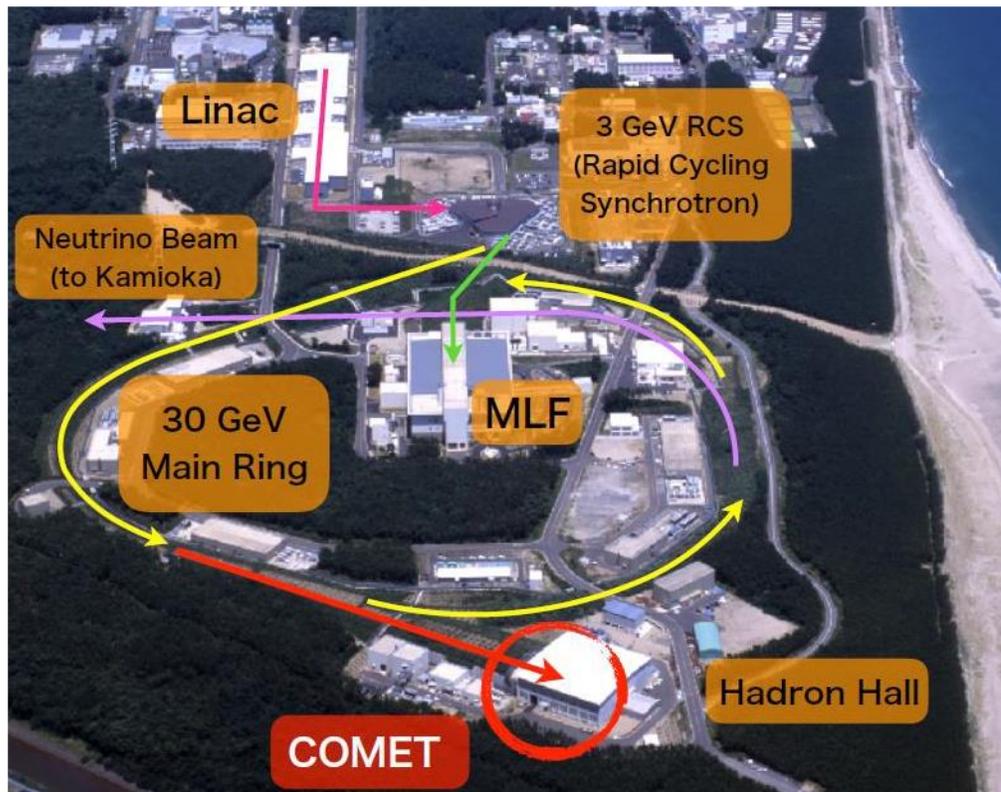
创刊主编 赵光达
院士顾问 林海青 马余强 彭练矛 孙昌璞
王贻芳 徐红星 俞大鹏
主 编 何 军
副 主 编 廖 蕾 廖志敏 孟 杰 熊启华
张晨栋

- 领域：原子、分子&光物理，量子计算&量子信息，凝聚态物理，材料科学及交叉，粒子、核物理、天体物理&宇宙学
- 文章类型：Review, Topical Review, View & Perspective, Report, Research Article, Research Highlight, ...
- 高质量热点文章编委快速终审与出版通道
- 投审稿流程采用双盲模式
- 暂无彩图费、版面费，文章无篇幅限制
- CAP连续文章出版模式快速发表
- 入选中国科技期刊“卓越行动计划”项目



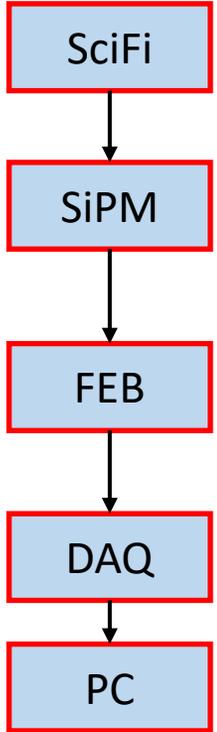
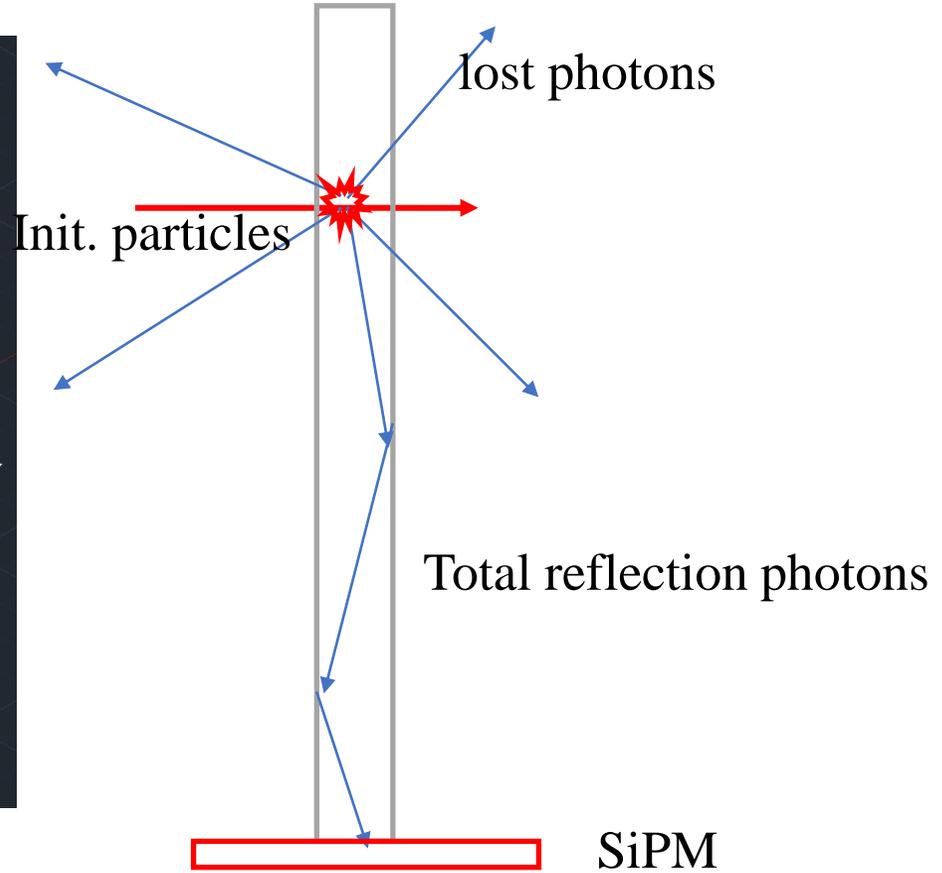
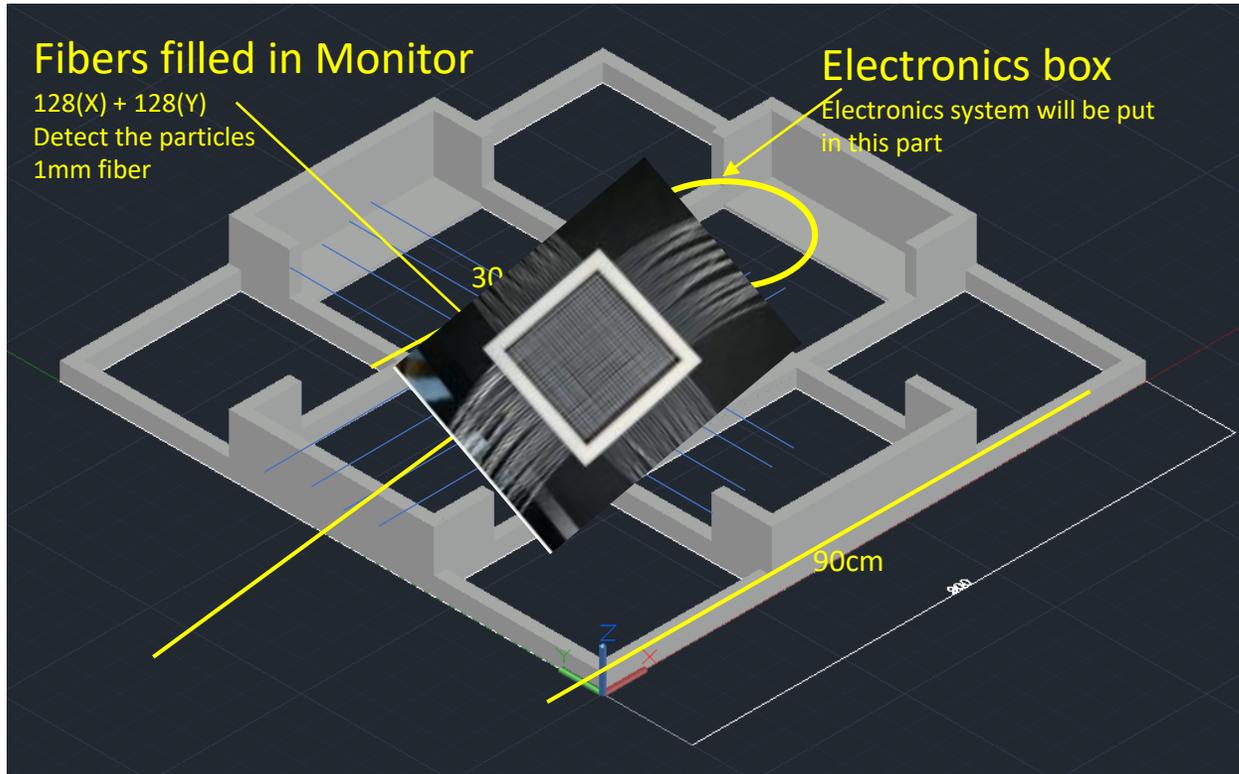
MBM的研制和束流测试—研究动机

- 依托中日国际合作项目，进一步提升本地实验室探测器研发水平。
- 大学生暑期交流项目，SYSU周逸行已前往日本留学，继续COMET实验的硬件研发。



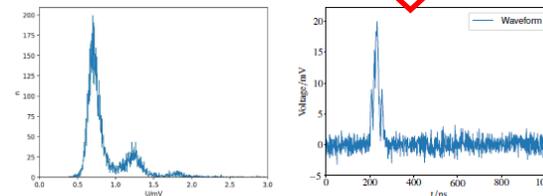
MBM的概念设计

Scintillation fiber



e-Print: [2308.15253](https://arxiv.org/abs/2308.15253) [physics.ins-det]

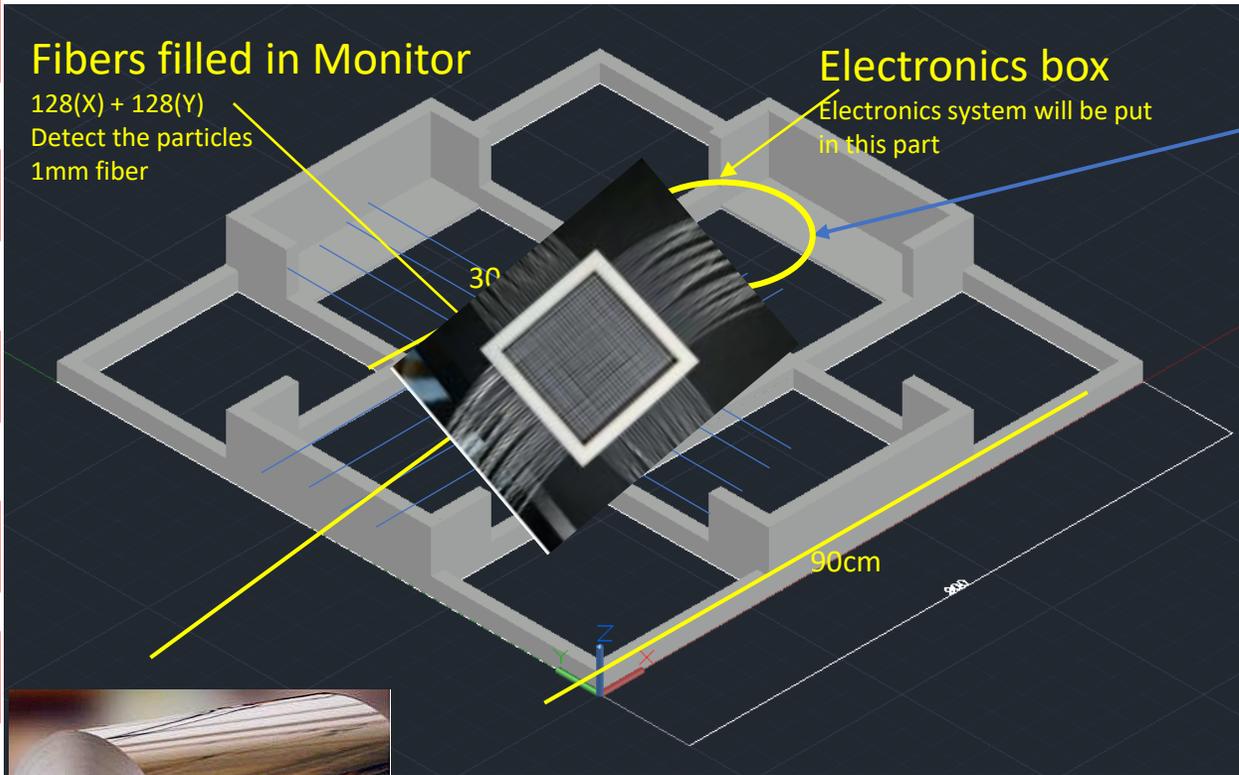
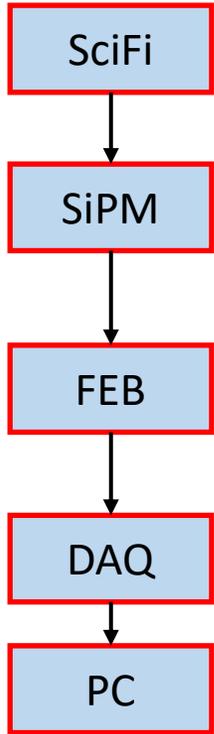
Credits: SYSU 徐宇、宁云松、孙铭辰、余涛等
USTC 封常青、腾尧、秦治臻等
ZZU 刘义



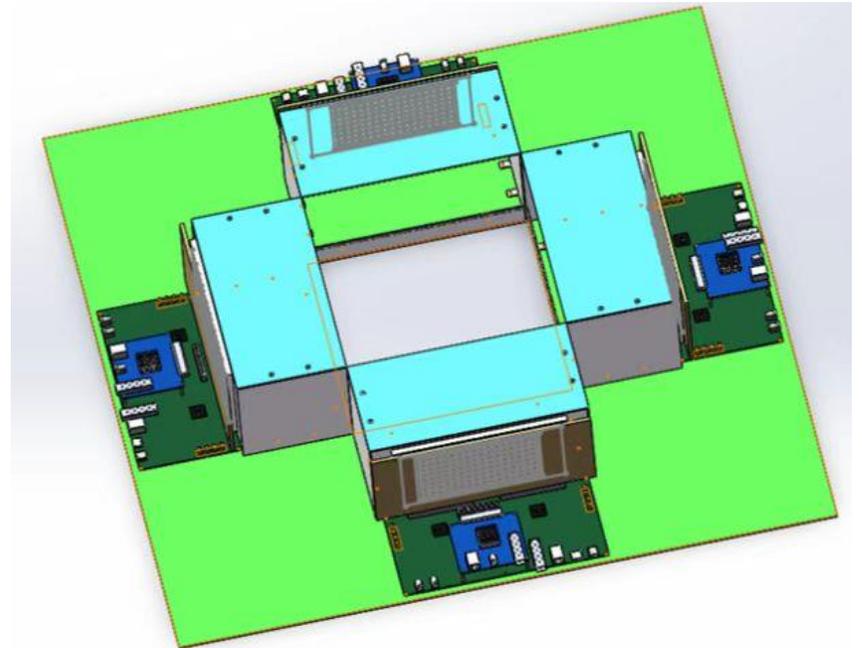
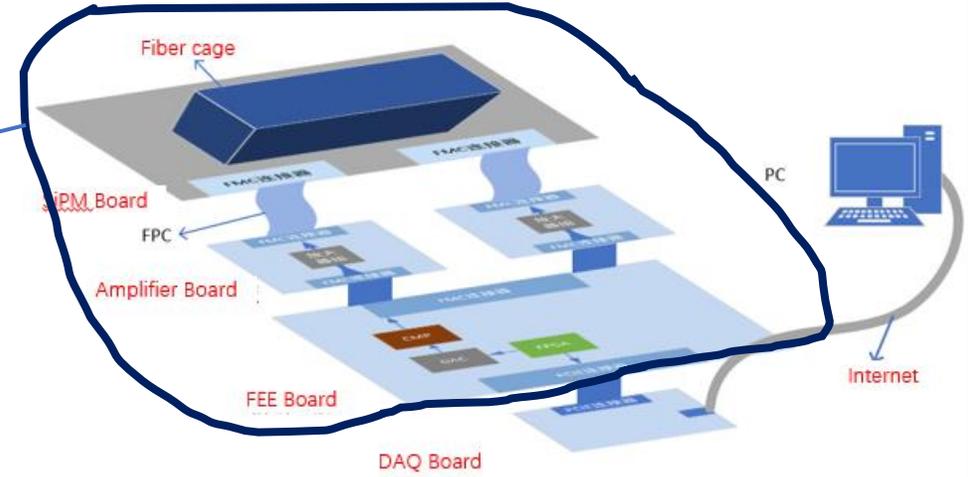
SiPM

Signal

MBM的机械设计

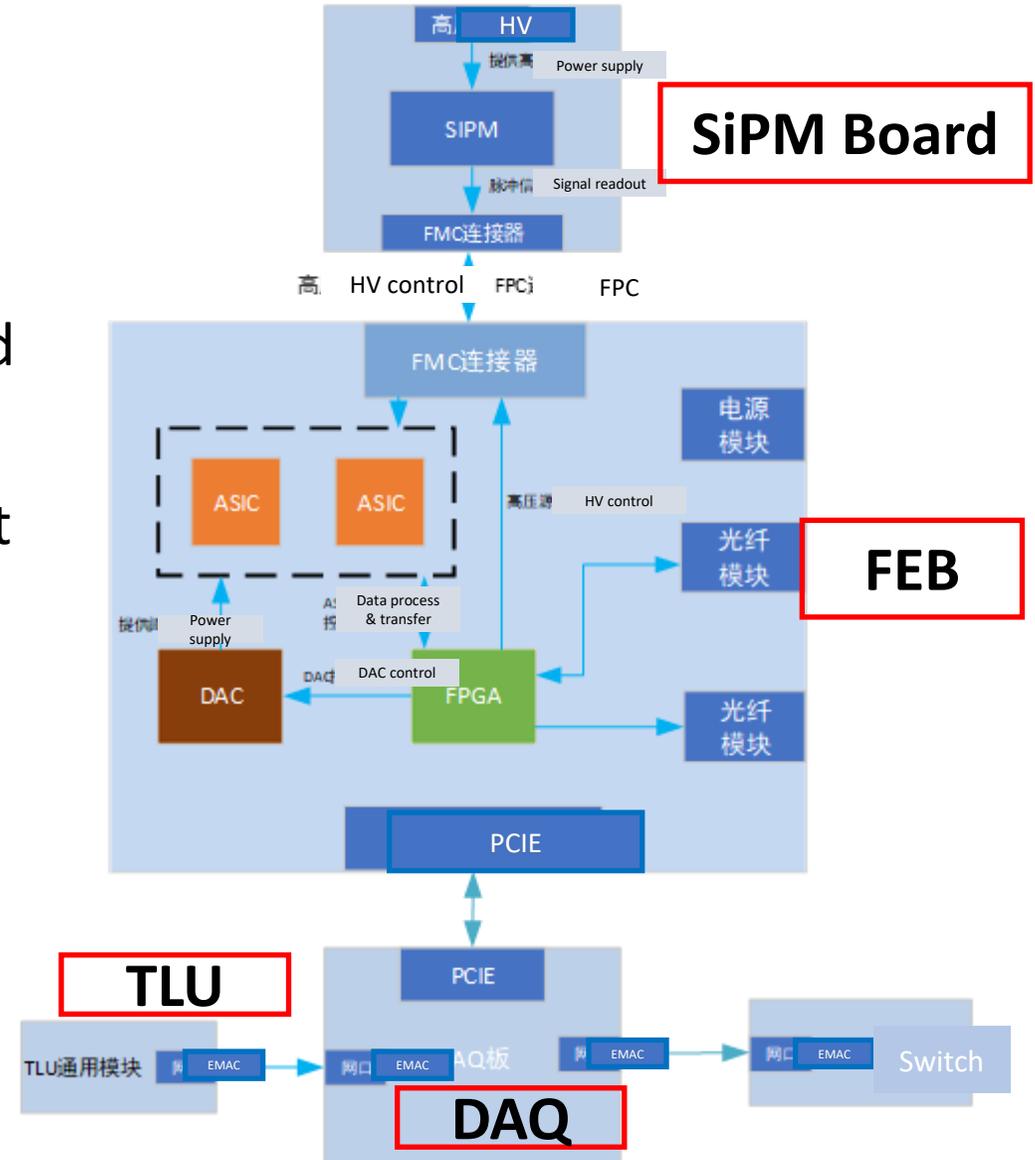
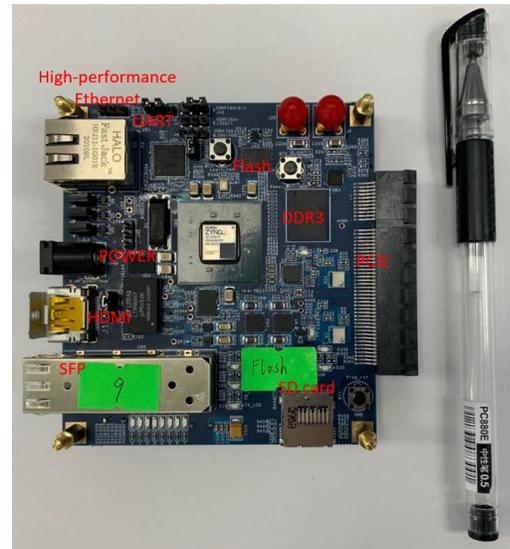


Region with SciFi will be covered with Al foil to shield the light

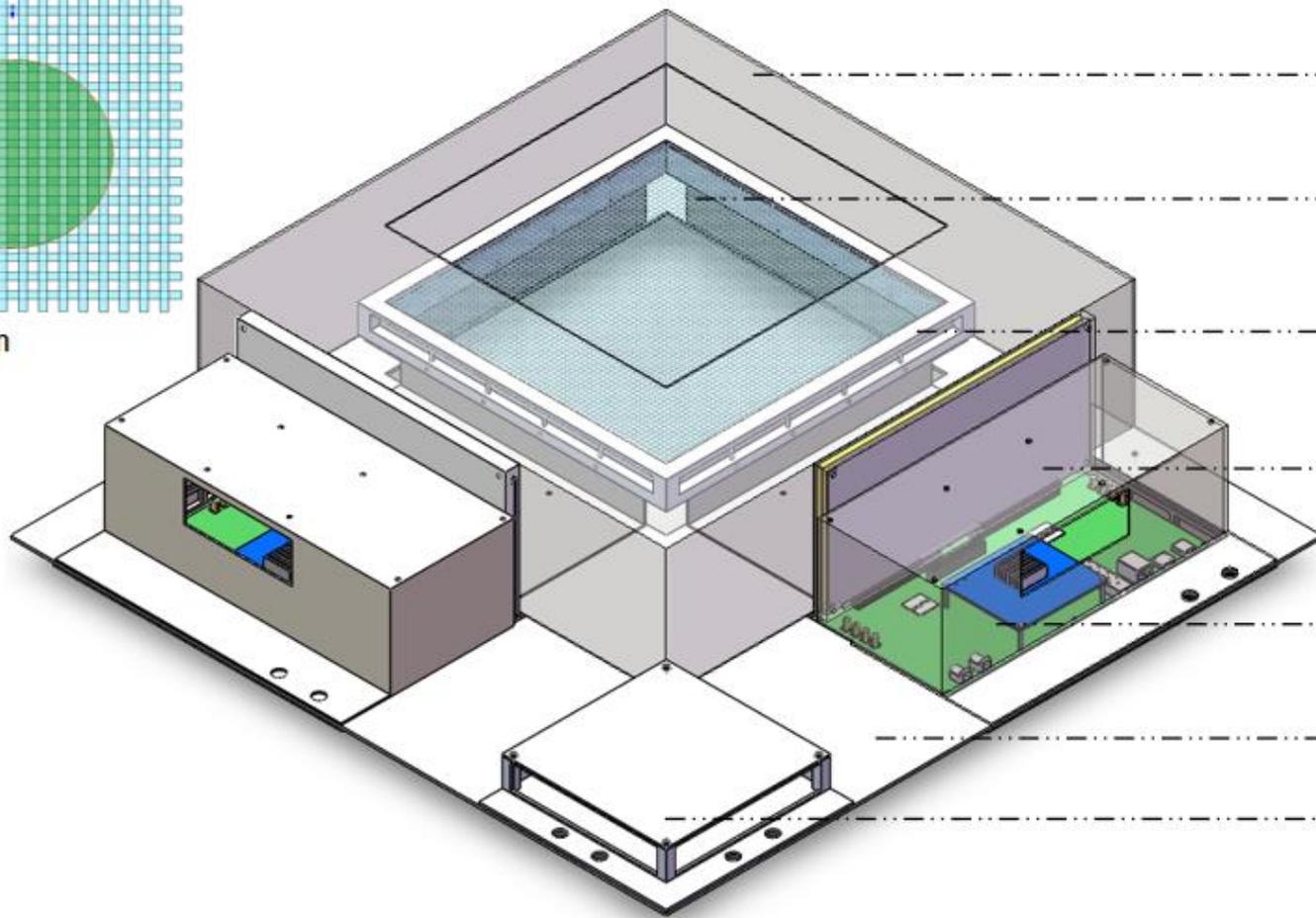
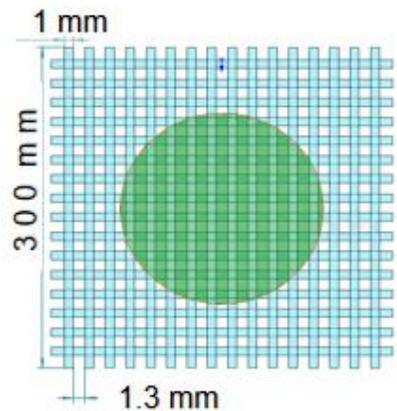


MBM的电子学读出系统

- SiPM Board: couple SiPM
- FEB: Front-End Board, use ASIC chip, data collection and package
- TLU module switch: get data from DAQ and send data to upper computer
- DAQ Board: data processing, communication with computer and TLU module



MBM的工程设计和装配示意图



→ Stainless Steel Box

→ Plastic Scintillation
Fiber

→ Resin Components

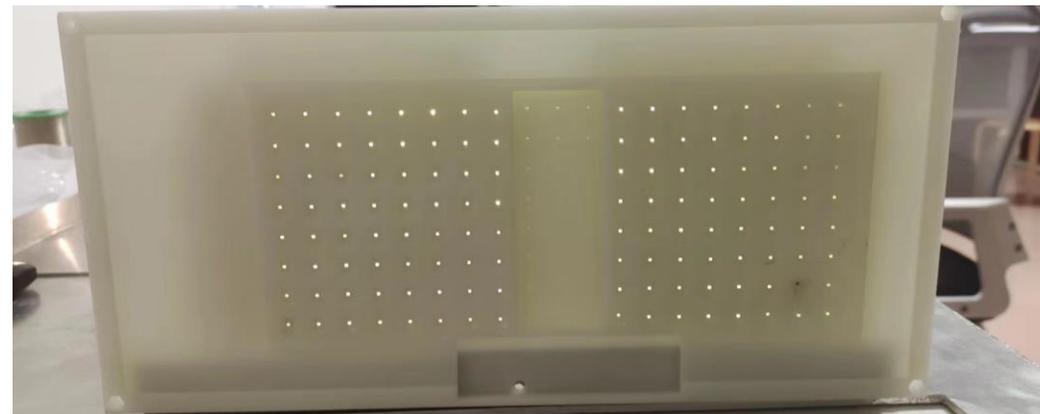
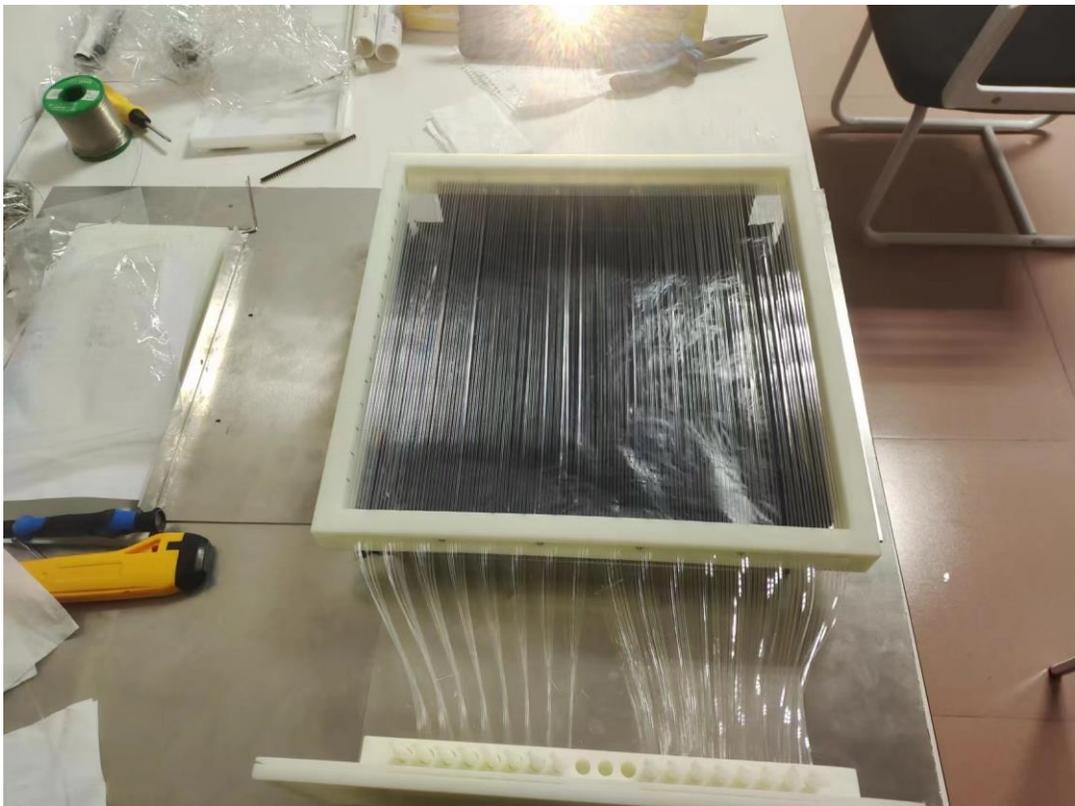
→ Electronics
Protection Box

→ Electronics
Readout

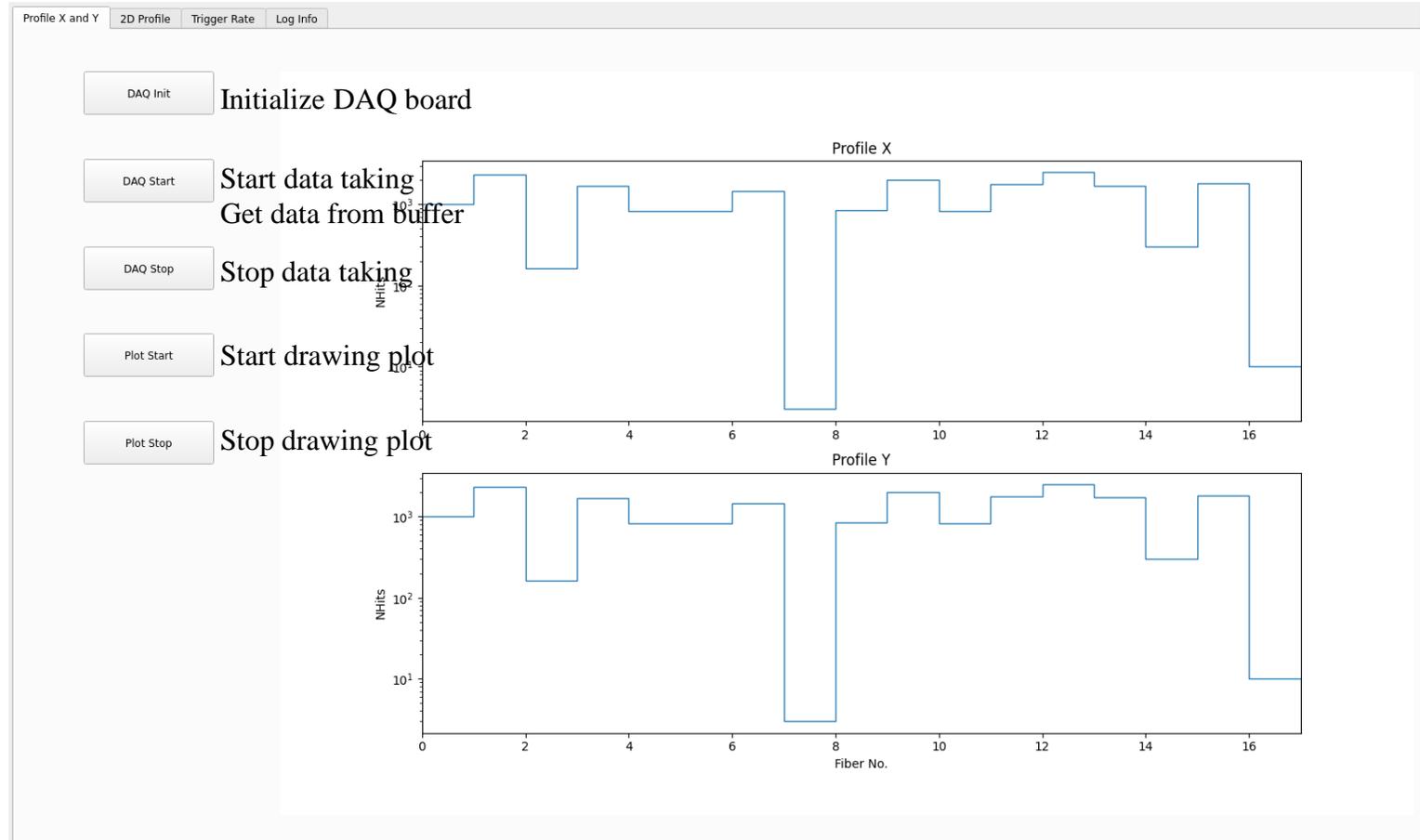
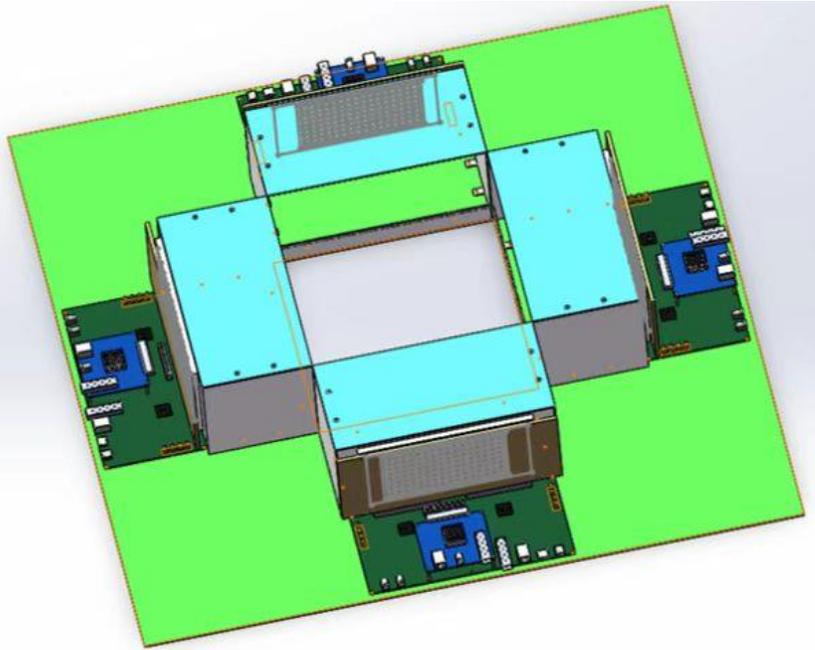
→ Aluminum Plate

→ Time Logic Unit

MBM的安装与调试

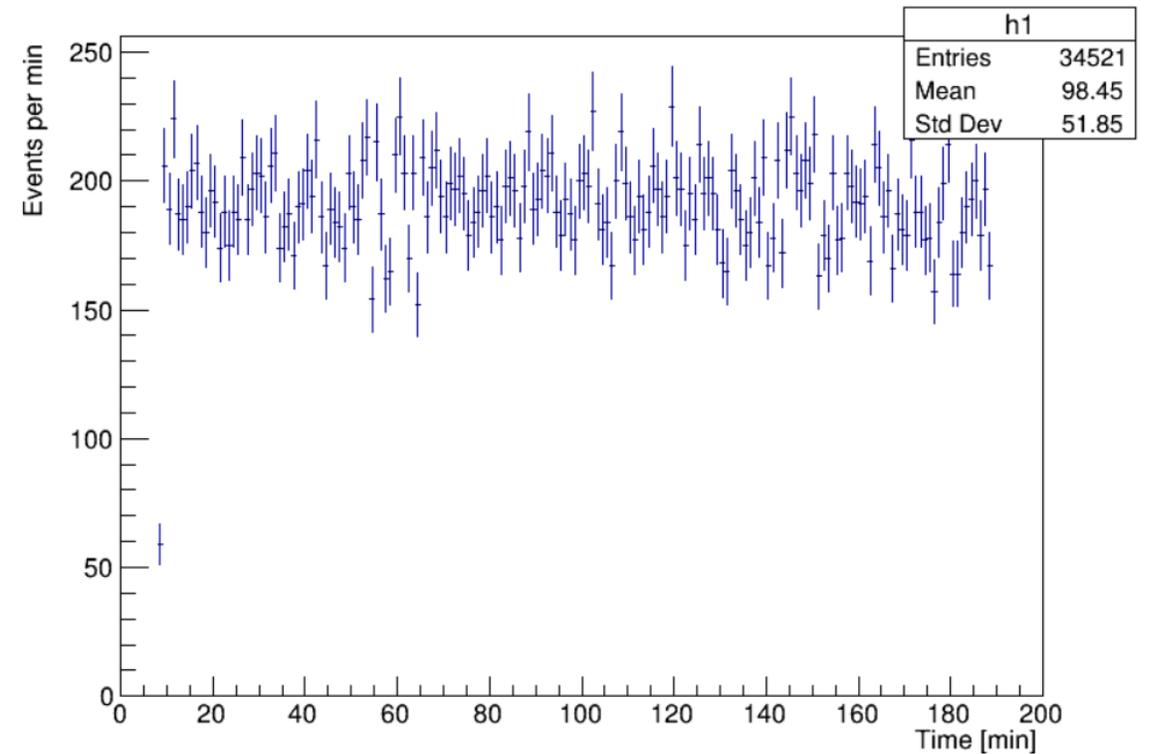
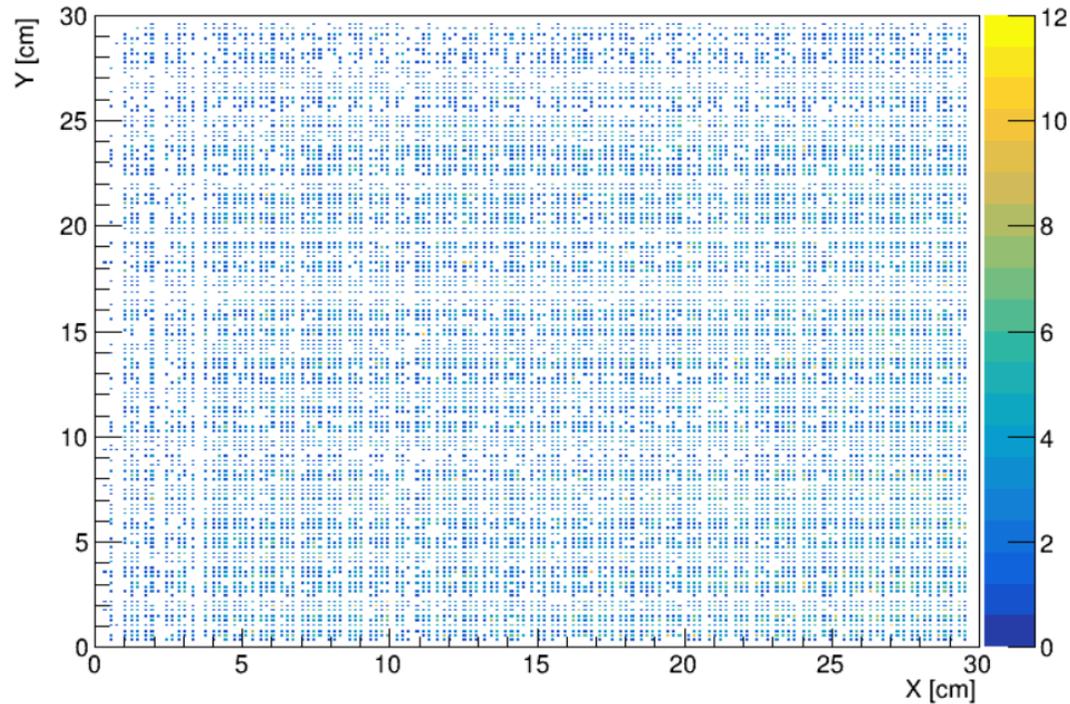


MBM数据采集的图形界面开发



- The commands to run the MBM
- Open source github: <https://github.com/xuyu92327/MBM>
- MIDAS by kou Oishi: <git@gitlab.in2p3.fr:kou/phase-alpha-midas-daq.git>

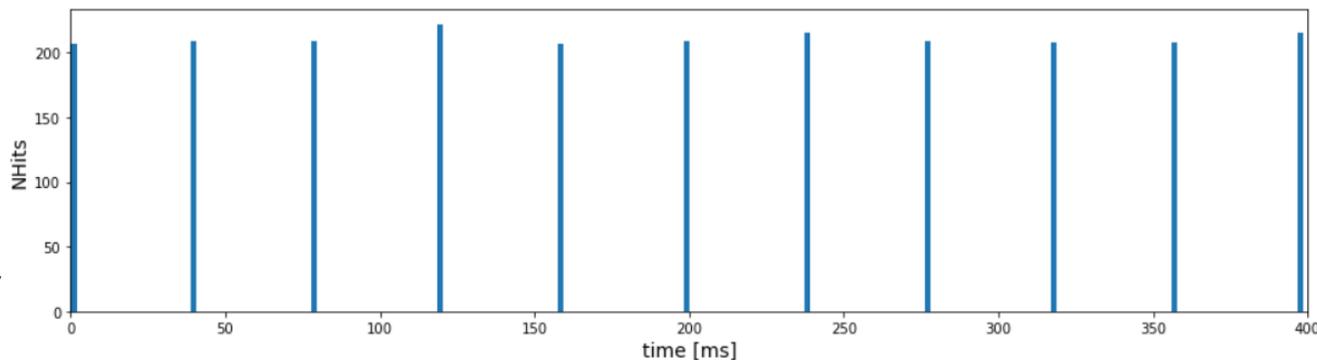
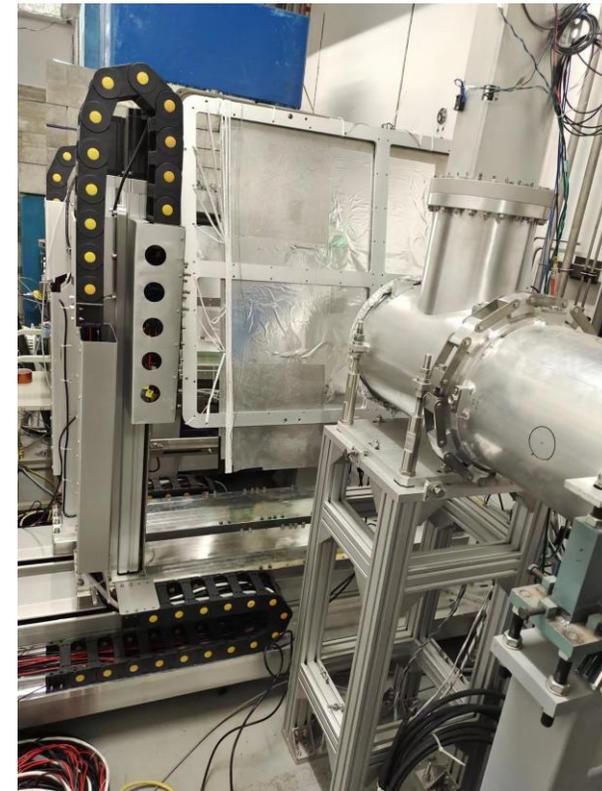
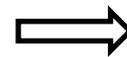
MBM本地实验室的宇宙射线测试



- 3 hours data taken in the SMOOTH laboratory
- 2D plot for cosmic muon
- Cosmic muon trigger rate vs time

MBM样机的第一次CSNS质子束流实验

- CSNS proton beam time: 2022/7/20
- Beam window:
 - 1cm×1cm
 - Energy: 30 MeV, 35 MeV, 40 MeV, 45 MeV, 50 MeV, 55 MeV, 60 MeV
 - Time: 90s per point
 - Beam rate: 1.7×10^7 protons/s/cm²



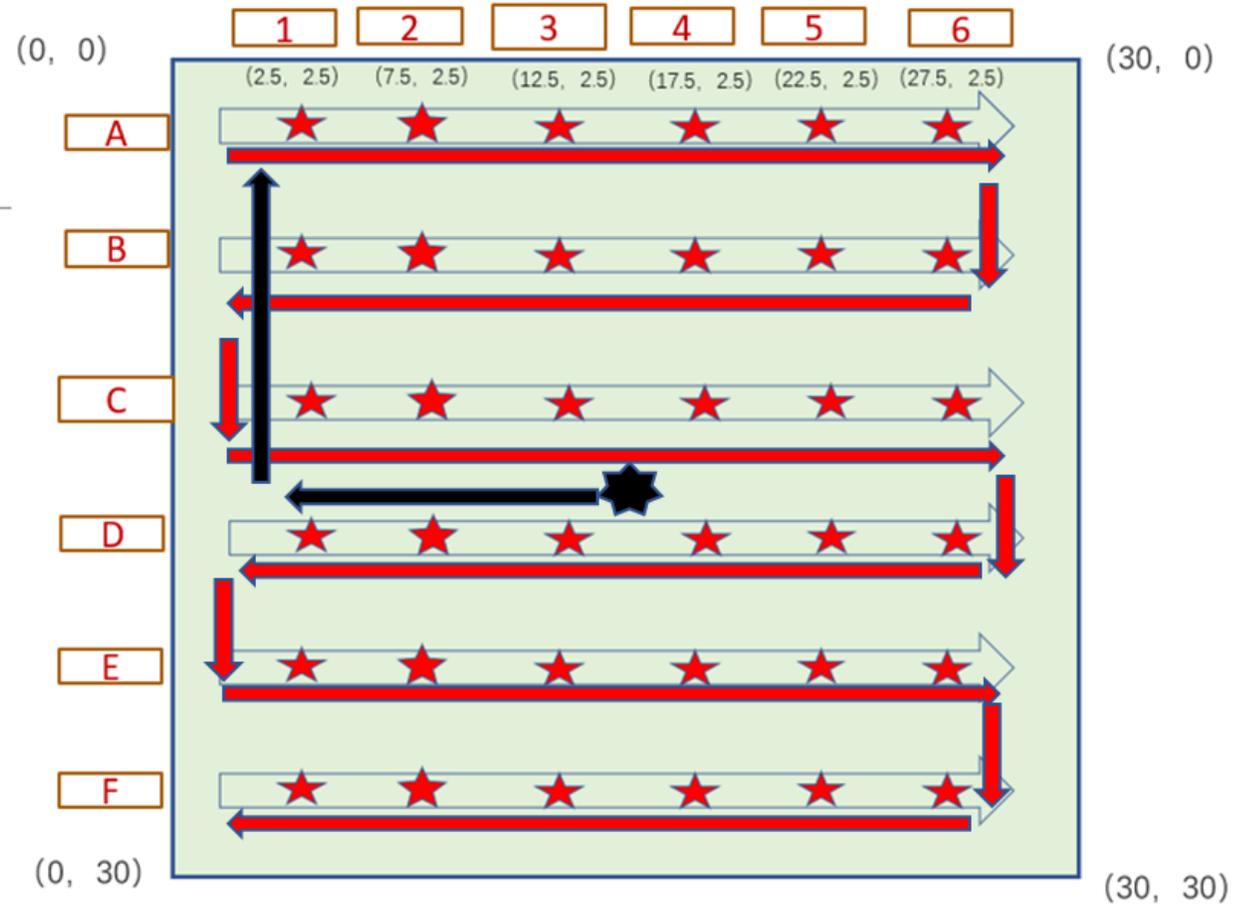
致谢：CSNS质子束流平台敬汉涛、谭志新等

MBM样机的第一次CSNS质子束流实验

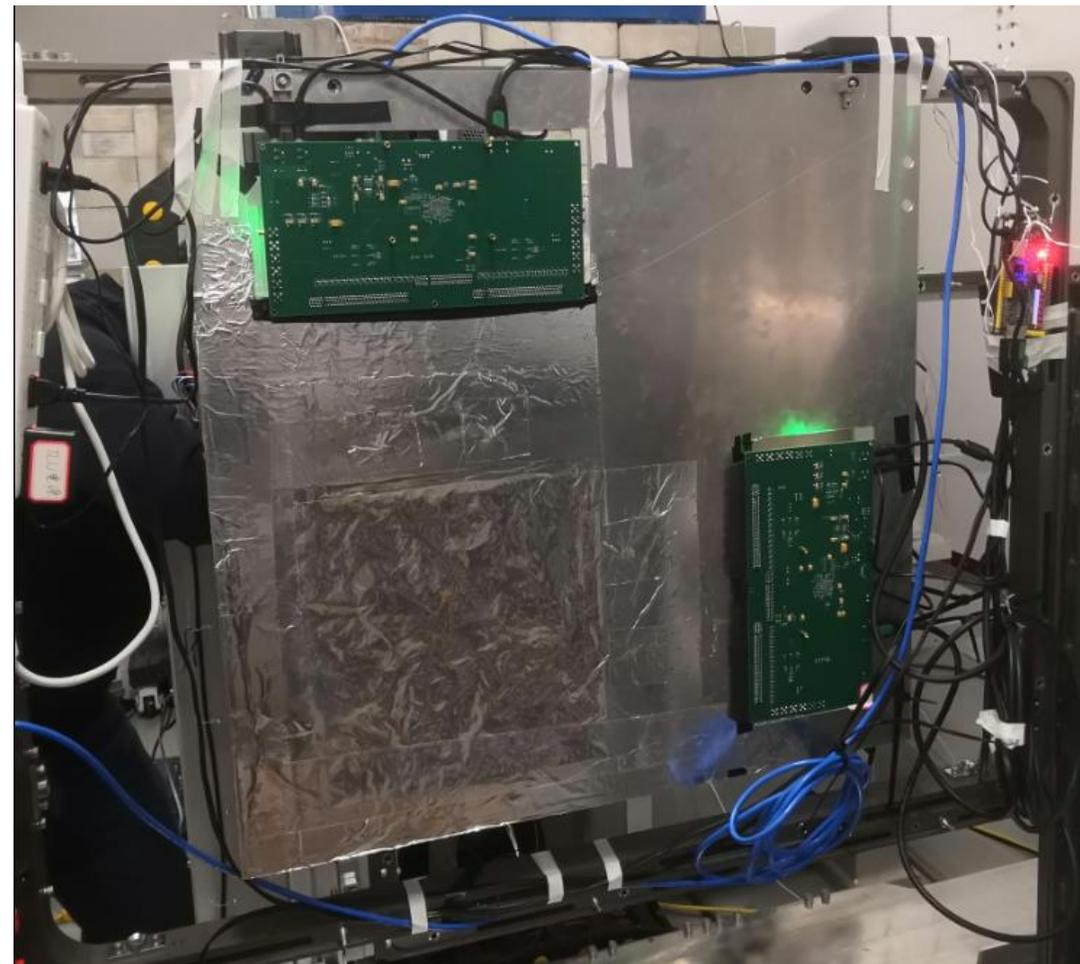


MBM整机第二次CSNS质子束流实验

- Beam test: Jan 9th in 2023
- Beam:
 - Power: 80 MeV
 - 2.9×10^9 proton/cm²/s
- Beam spot 10mm*10mm

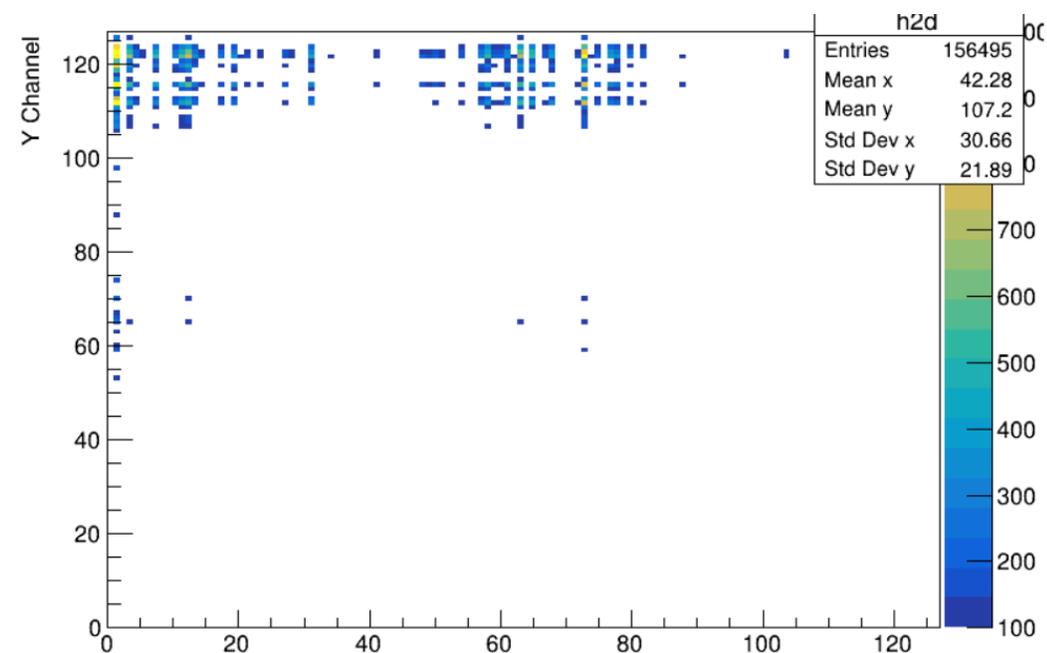
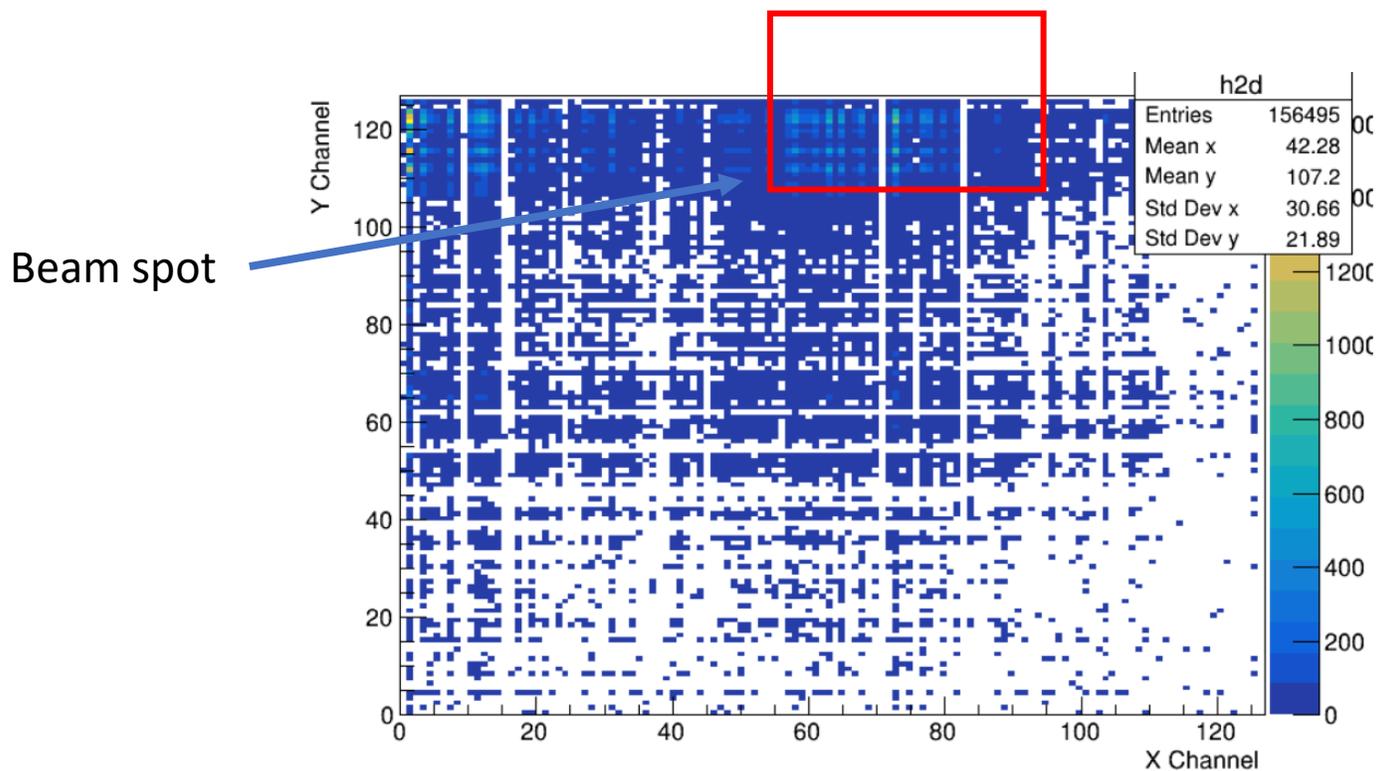


MBM整机第二次CSNS质子束流实验



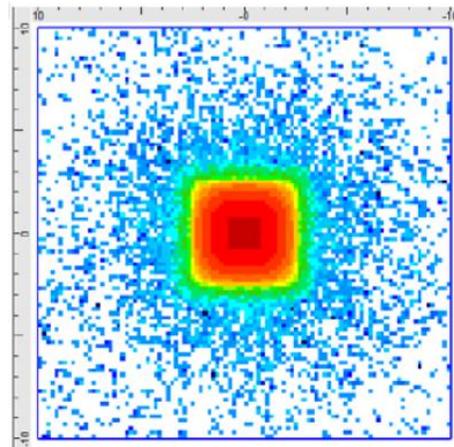
MBM整机第二次CSNS质子束流实验

A4 time profile

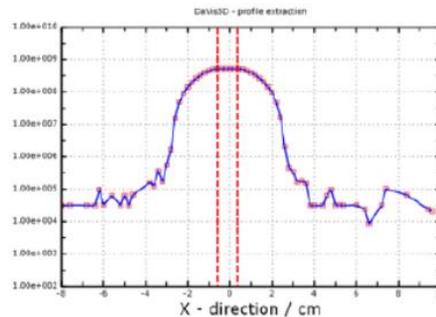


MBM整机第二次CSNS质子束流实验

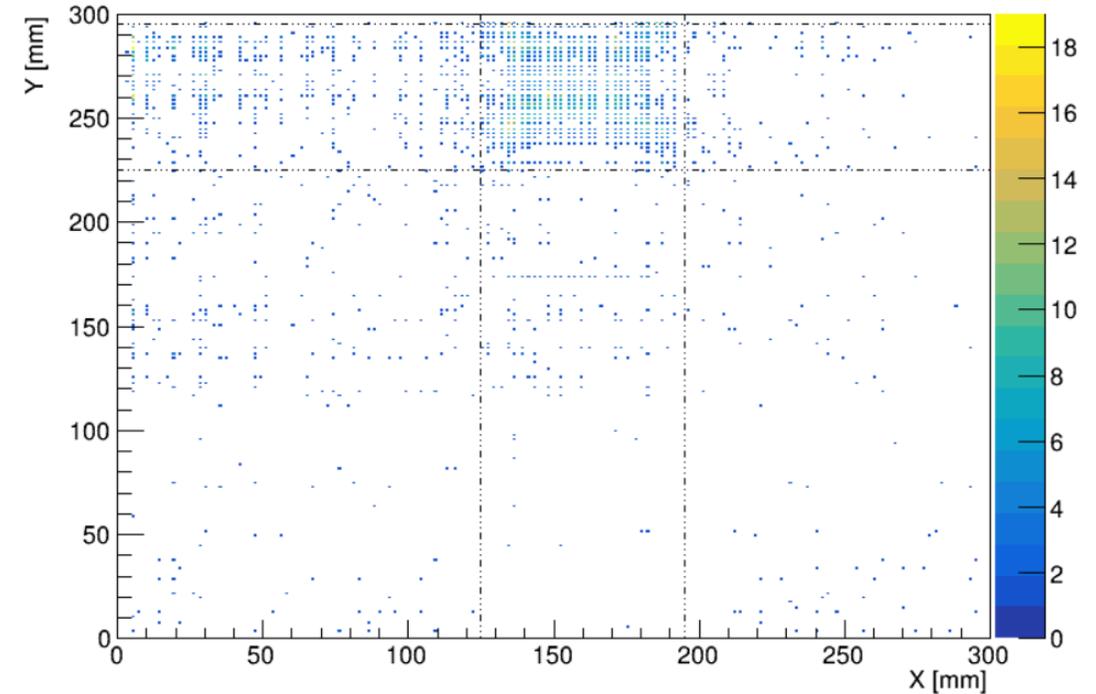
- Beam time t_0 : time for $N_{hit} > 20$
- Cut: $-0.4 \text{ ms} < t - t_0 < 0.4 \text{ ms}$
- Obvious beam spot



10mm×10mm

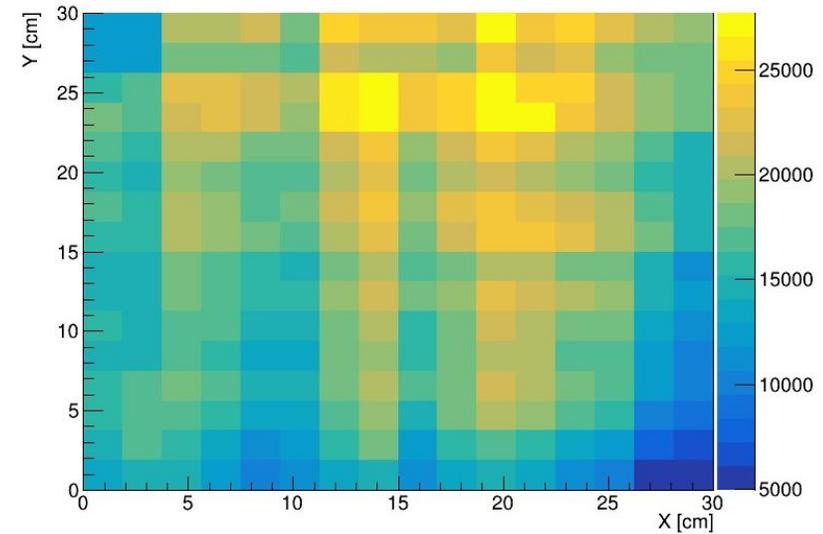
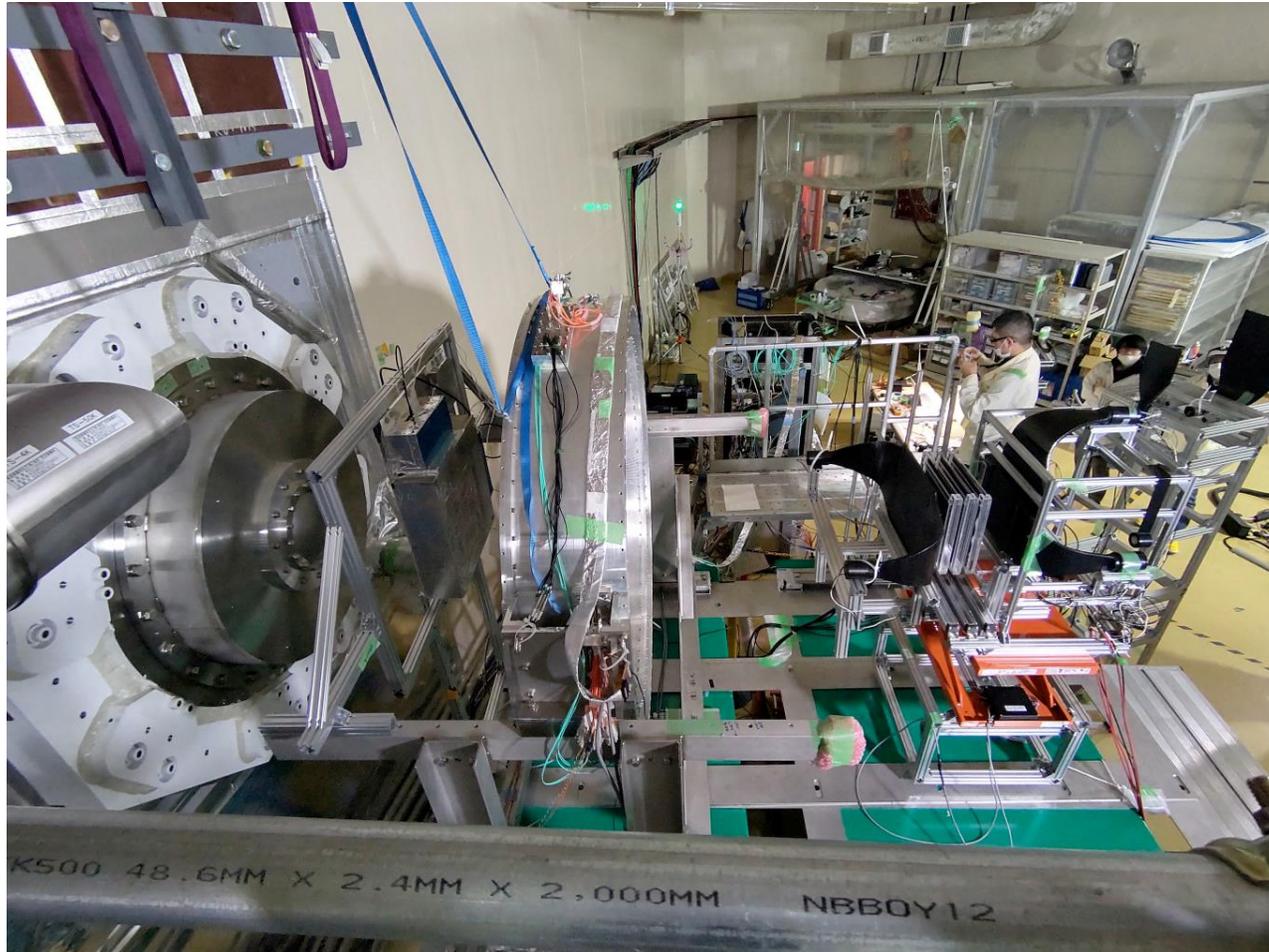


Simulation from CSNS
Contour around 60-70 mm



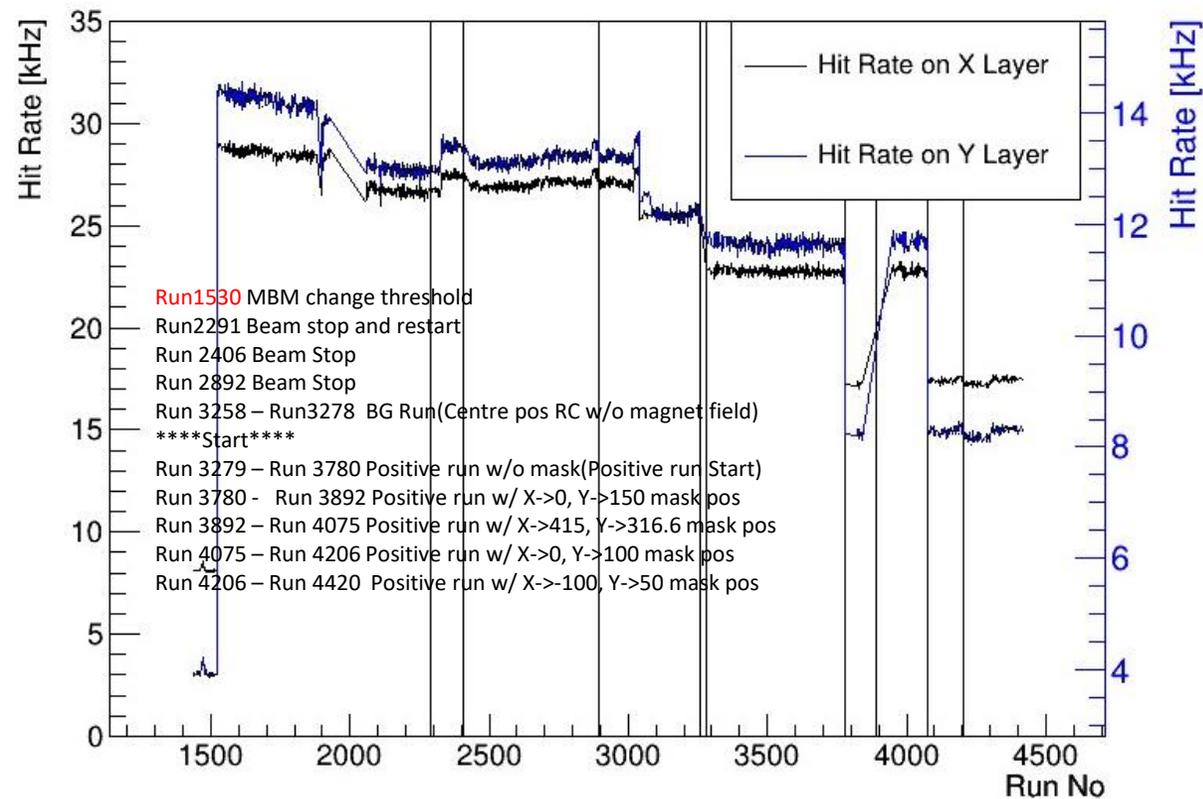
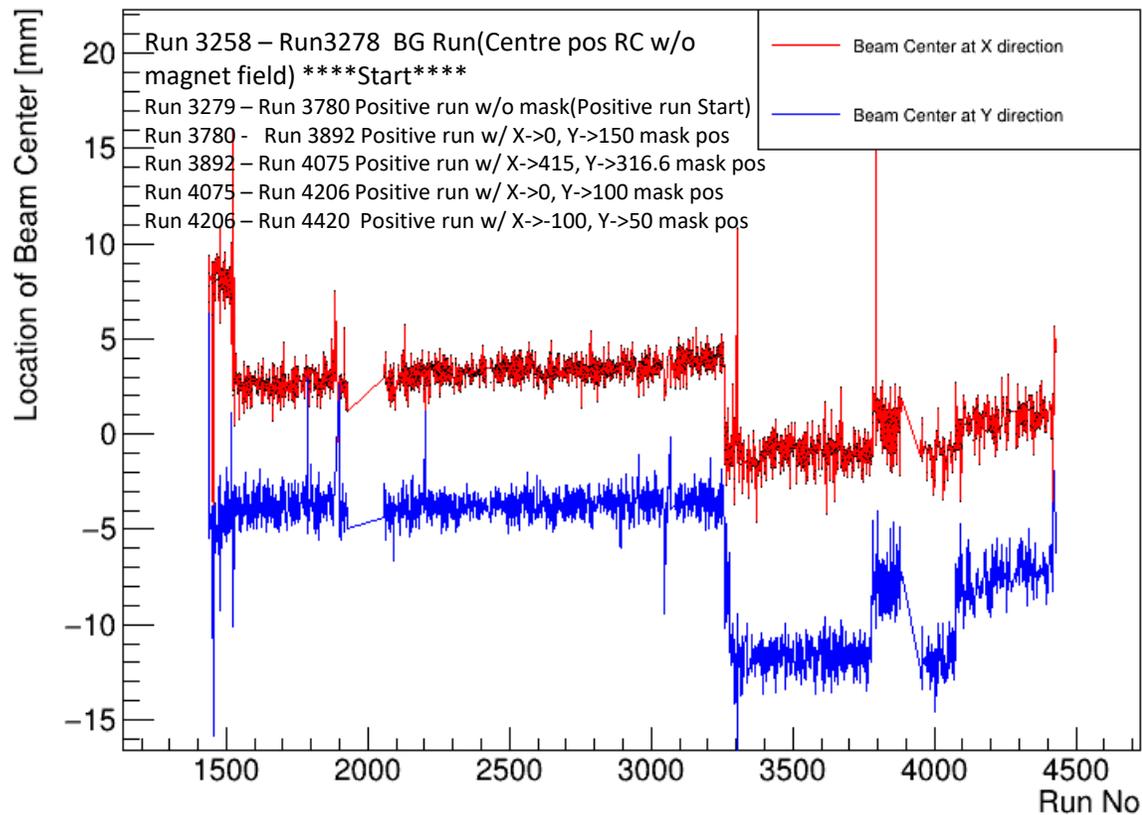
Data taken by MBM.

MBM在日本COMET- α 缪子束流实验

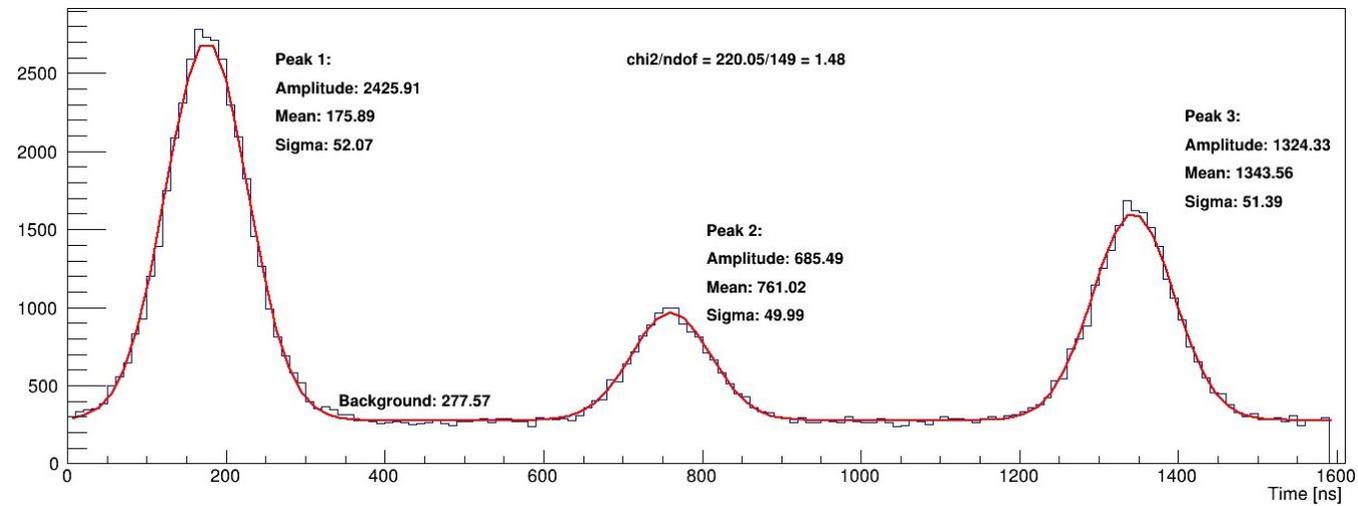
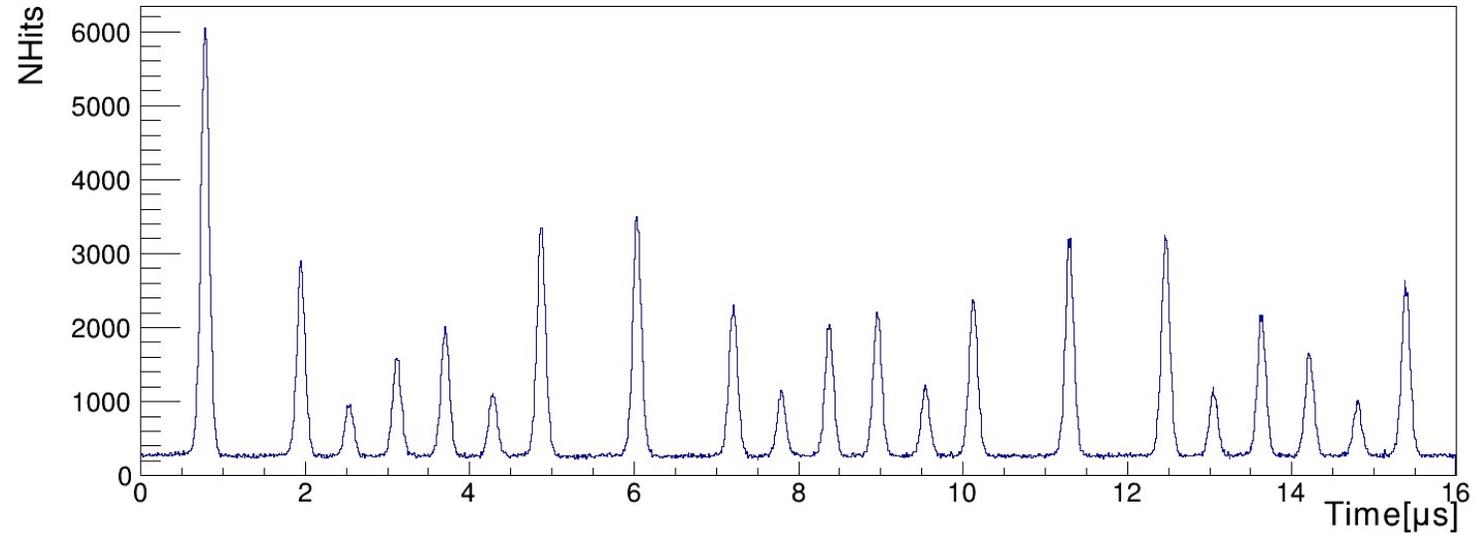


- Large beam spot
 - Lower magnetic field in transport solenoid: 3T \rightarrow 1.5T
 - No magnetic field in detector region
 - Different kinds of particles: e, mu, pi
- Slightly changes in different running period

COMET- α 缪子束流实验

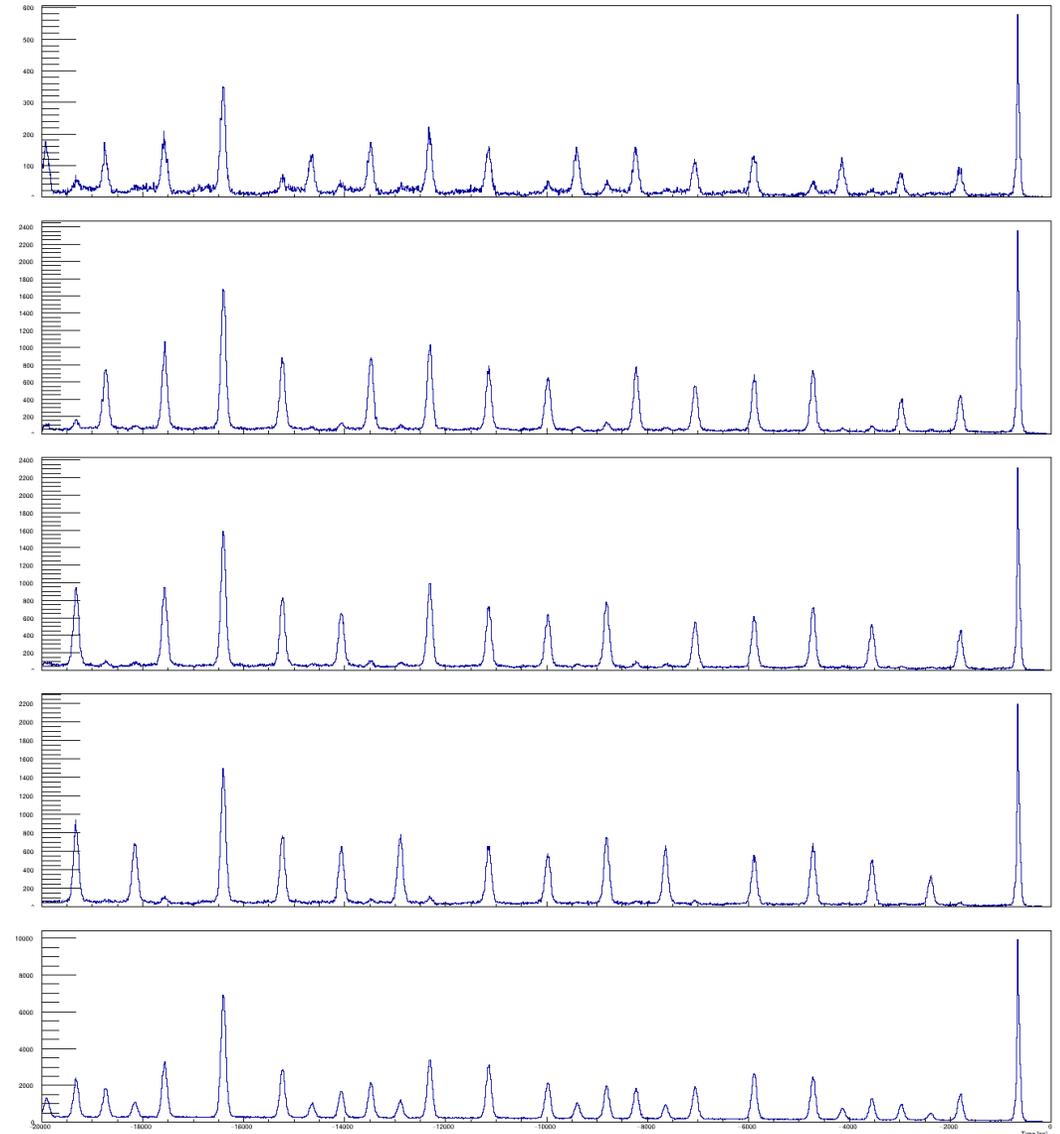
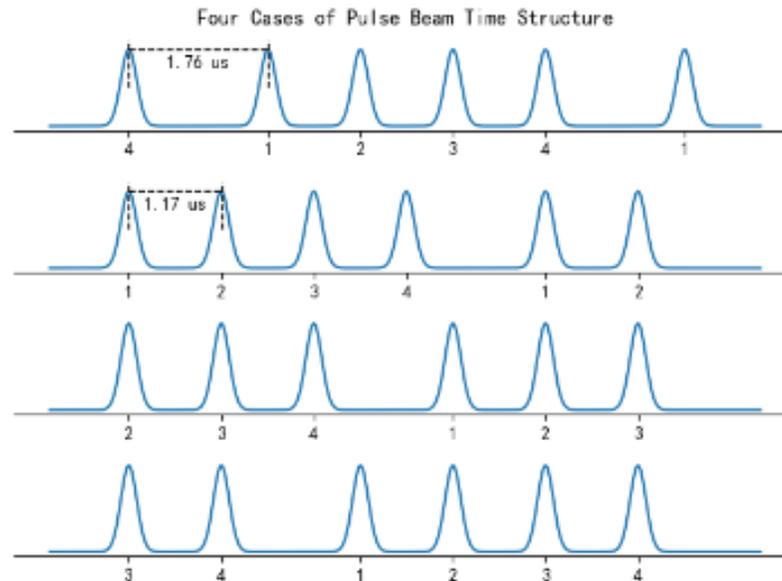
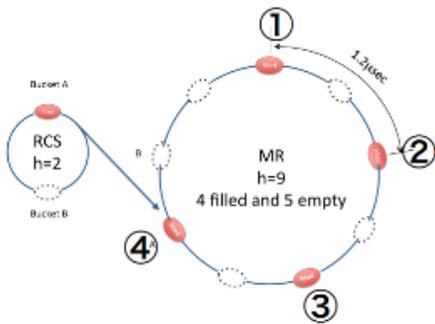


COMET- α 缪子束流实验



COMET- α 缪子束流实验

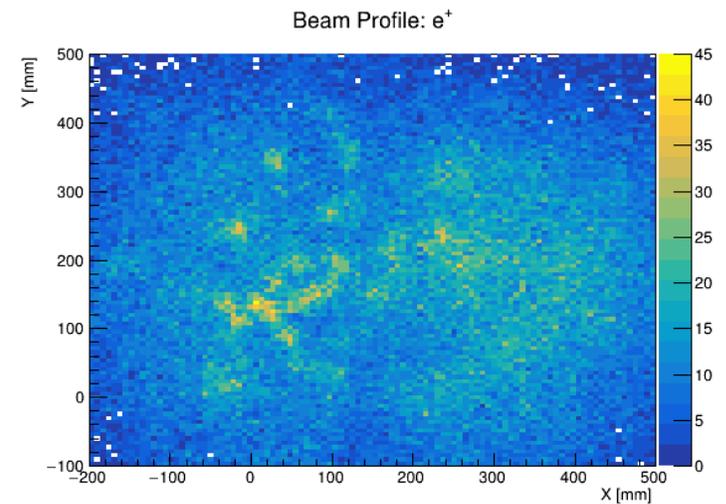
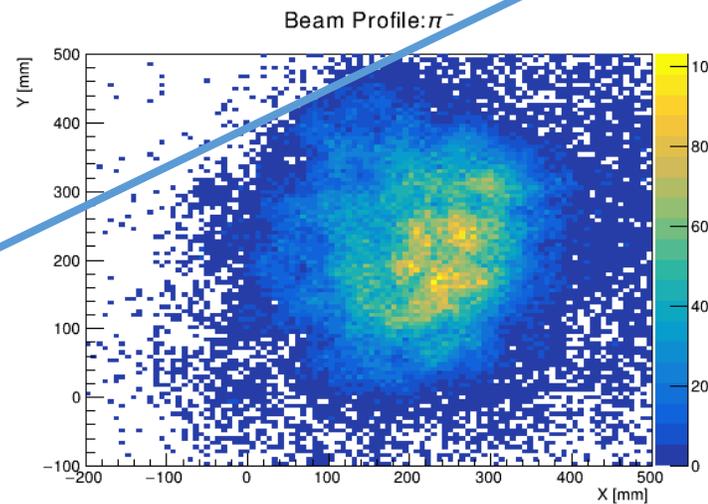
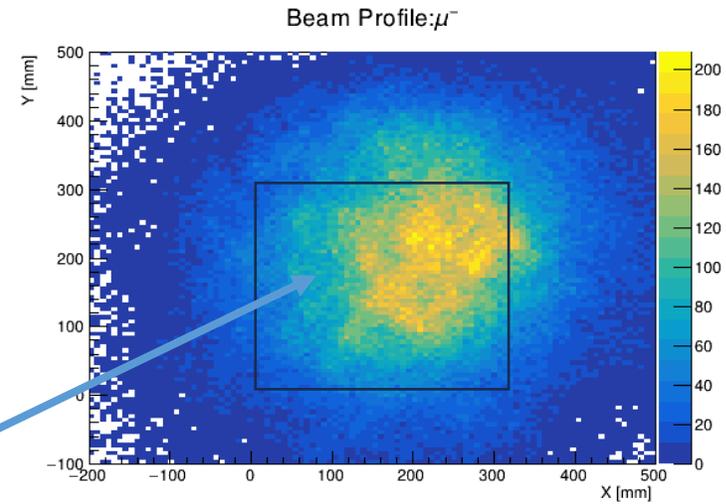
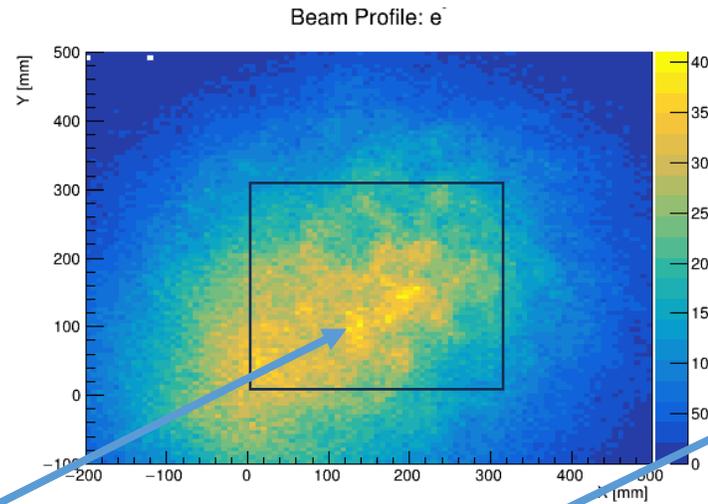
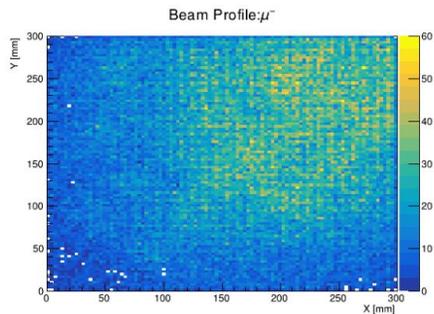
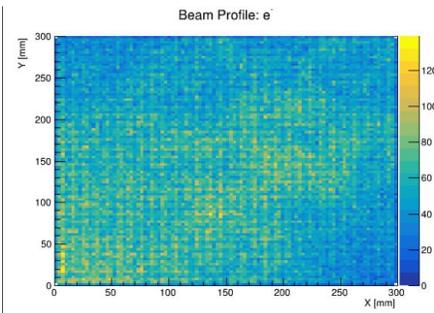
- Structure for one main-ring cycle
 - 1 big pulse followed by 6 small pulse
 - Composed for 4 possibilities
 - Big pulse: 1.1 μ s
 - Small pulse: 0.6 μ s



COMET- α 缪子束流的MC模拟

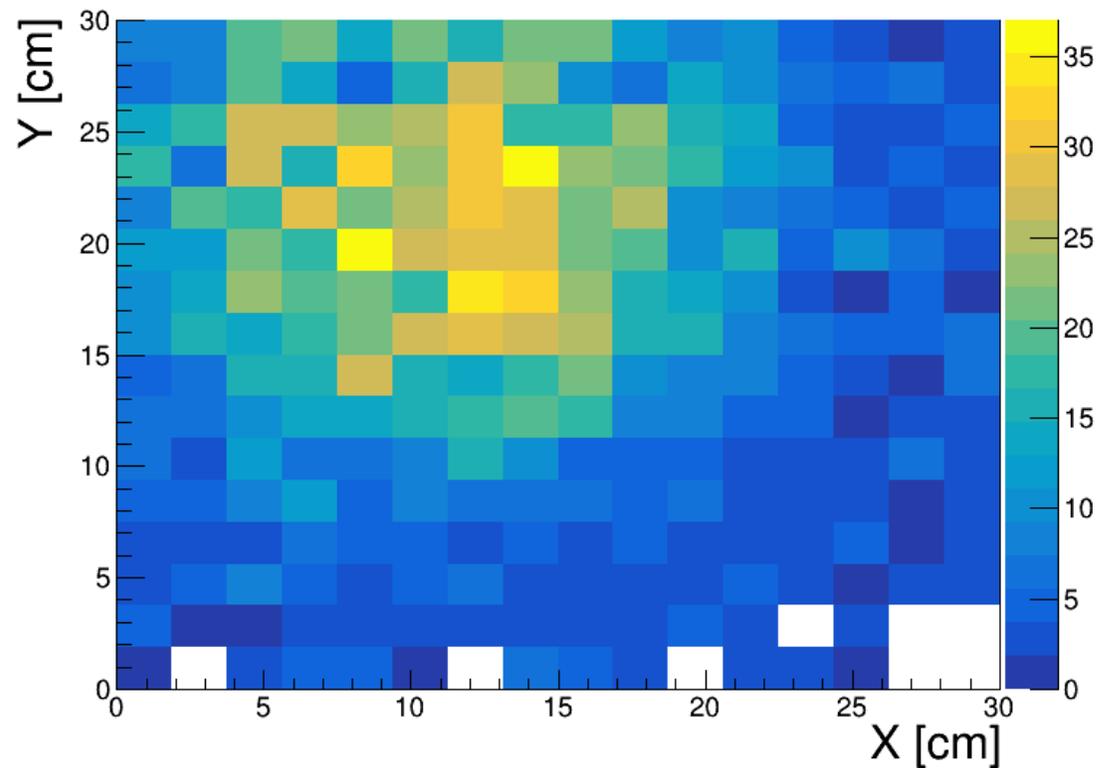
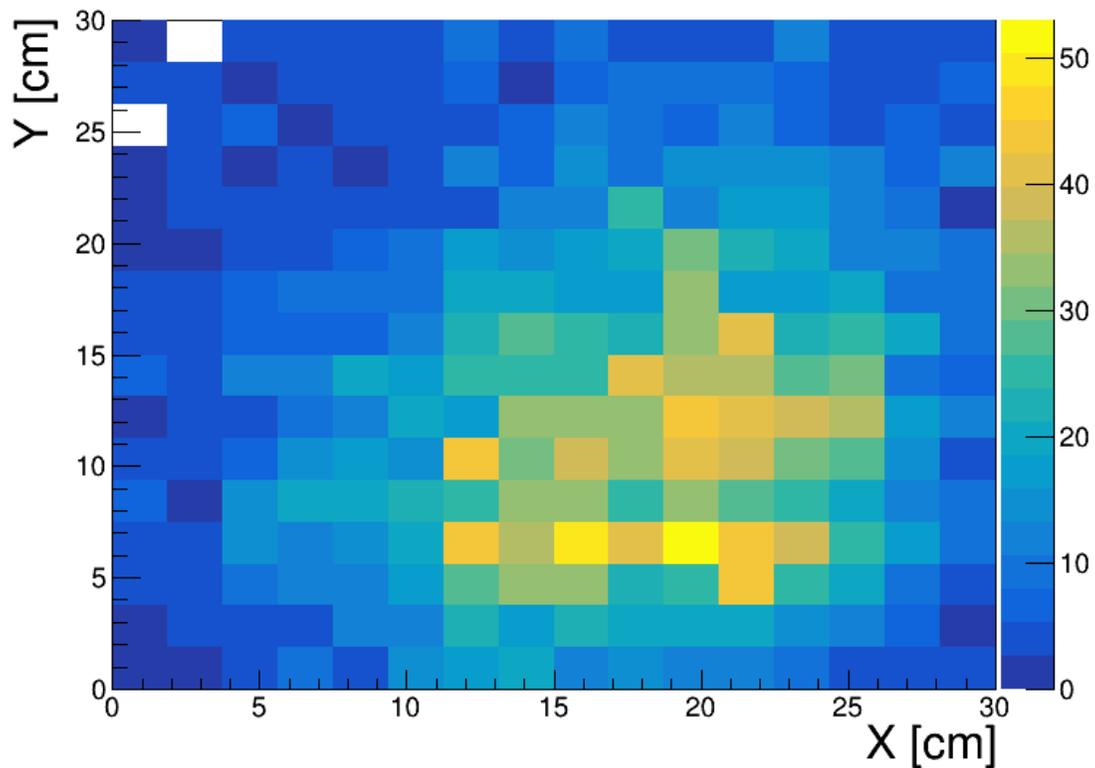
- Global beam profile

MBM's beam profile



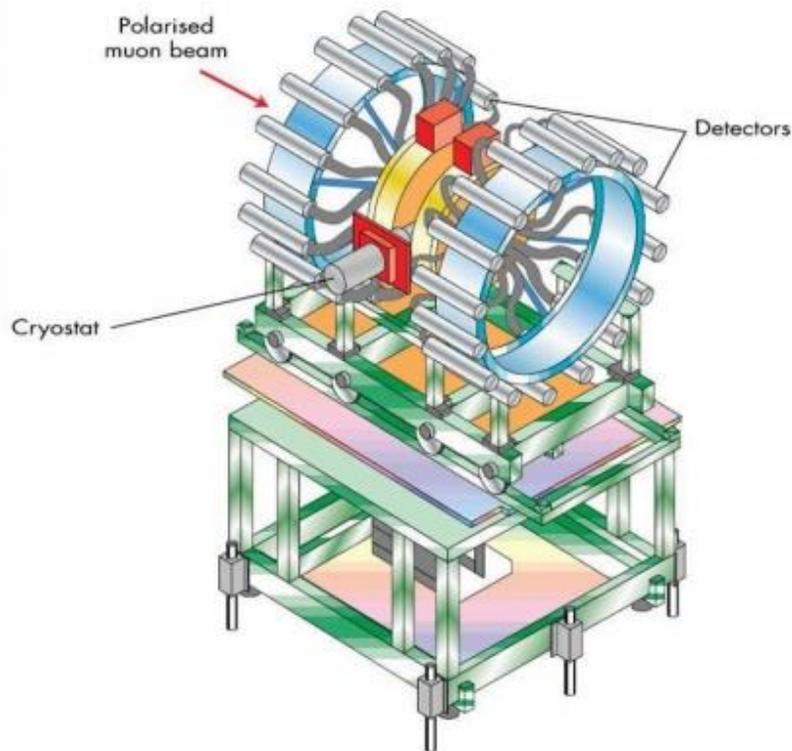
COMET- α 繆子束斑的測量

- When RC was moved from the bottom right to the top left, we saw the movement by MBM immediately.



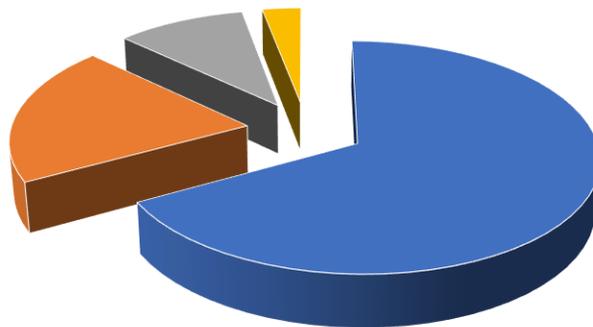
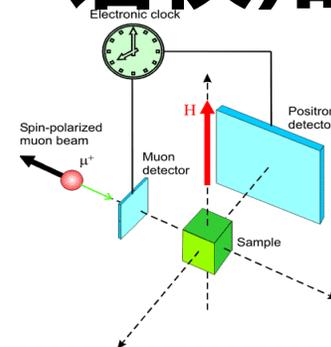
It works!

同类型探测器系统(μ SR谱仪)的多学科应用

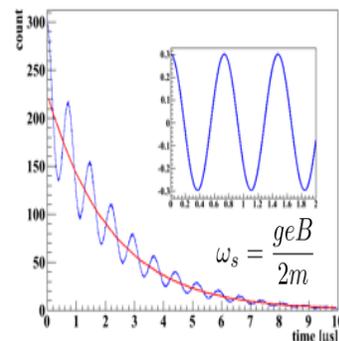


The μ SR spectrometer

Nature Materials 16, 467–473 (2017)



- 物理
 - 磁性
 - 超导性
 - 表面物理
 - 基础物理
- 化学
 - 分子动力学
 - 氧化物
 - μ 偶素
- 材料
 - 多聚物
 - 半导体
 - 储氢材料
- 生物
 - 蛋白质
 - DNA

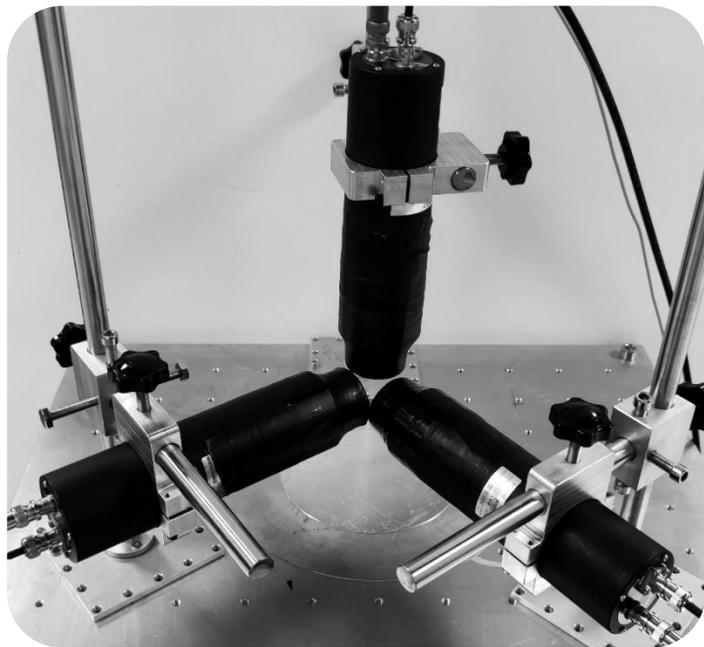


主要谱仪类型：不加磁场(ZF- μ SR)、加横向磁场(TF- μ SR)、加纵向磁场(LF- μ SR)、自旋回波(μ SE)、自旋共振(RF- μ SR)、Level Crossing共振(μ ACLR)

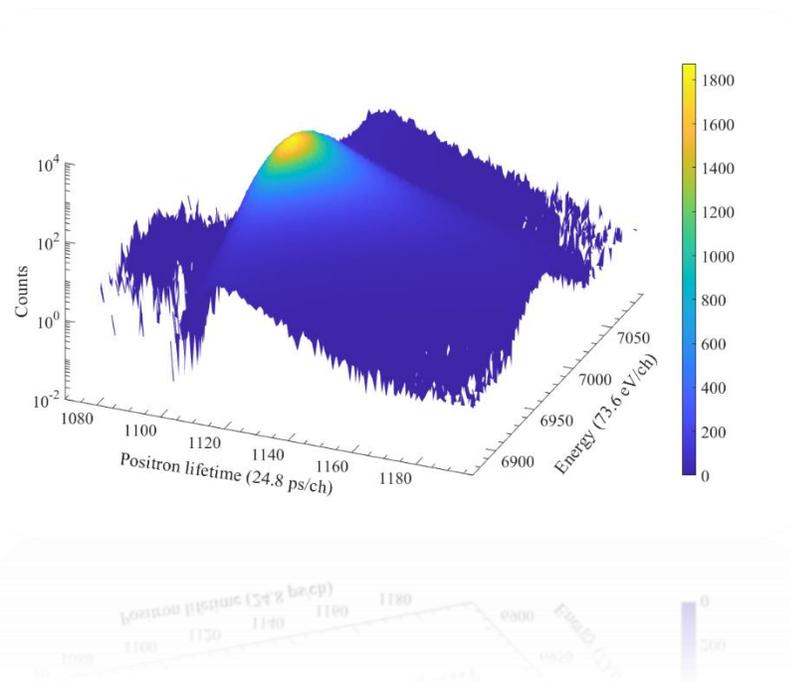
同类型探测器系统(正电子谱仪)的多学科应用

- 正电子谱学应用：材料辐照损伤、离子注入缺陷、表面物理研究、各种生长薄膜材料、半导体界面缺陷等

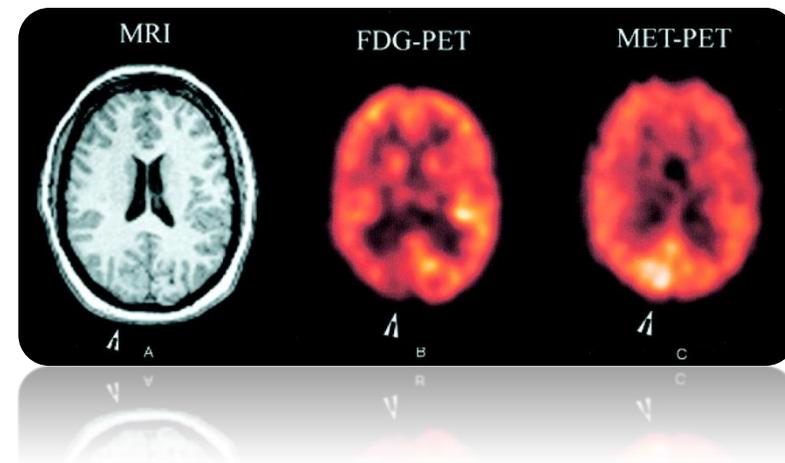
正电子寿命谱仪：
探测材料缺陷微结构



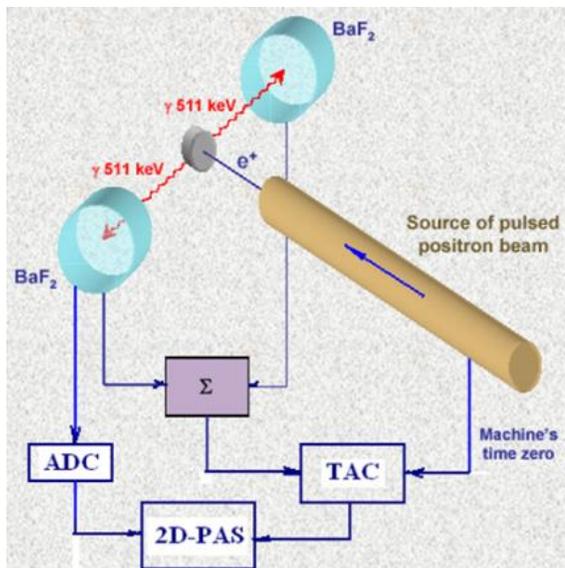
AMOC：
探测电子动量信息和化学环境



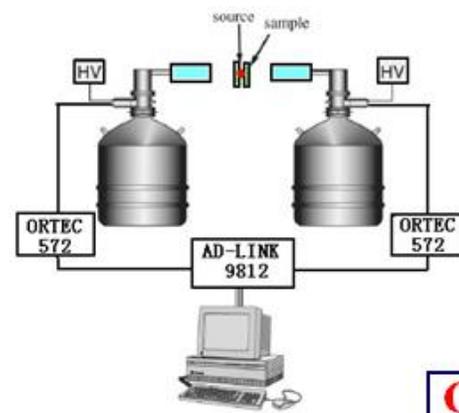
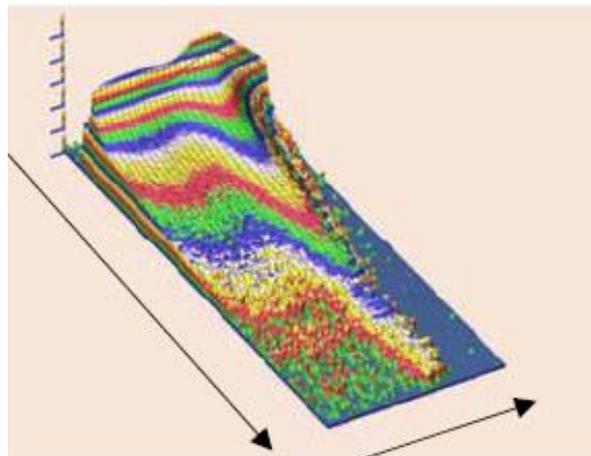
正电子断层扫描：
应用于医学成像



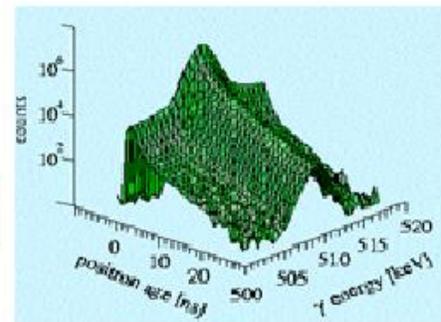
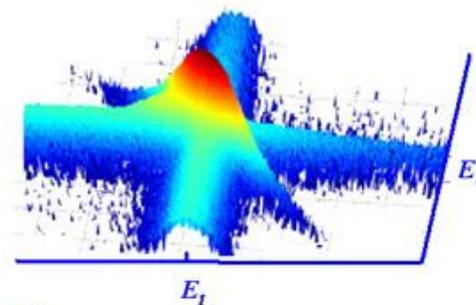
同类型探测器系统(正电子谱仪)的多学科应用



2D-PALS



CDB

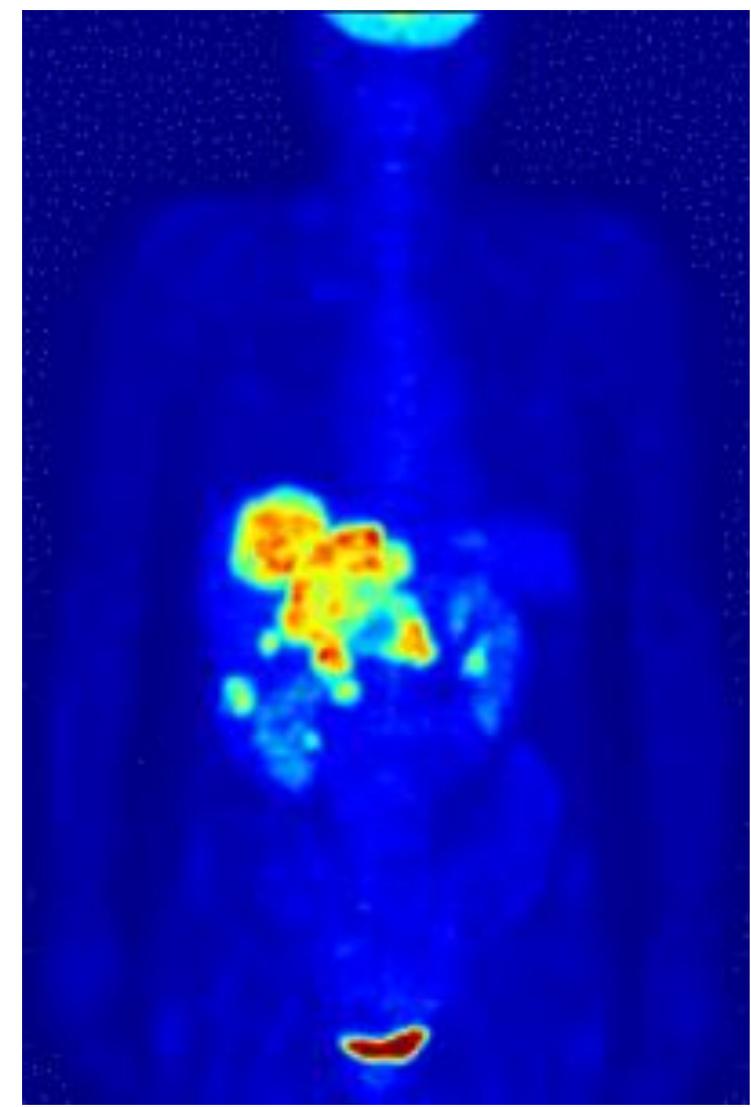
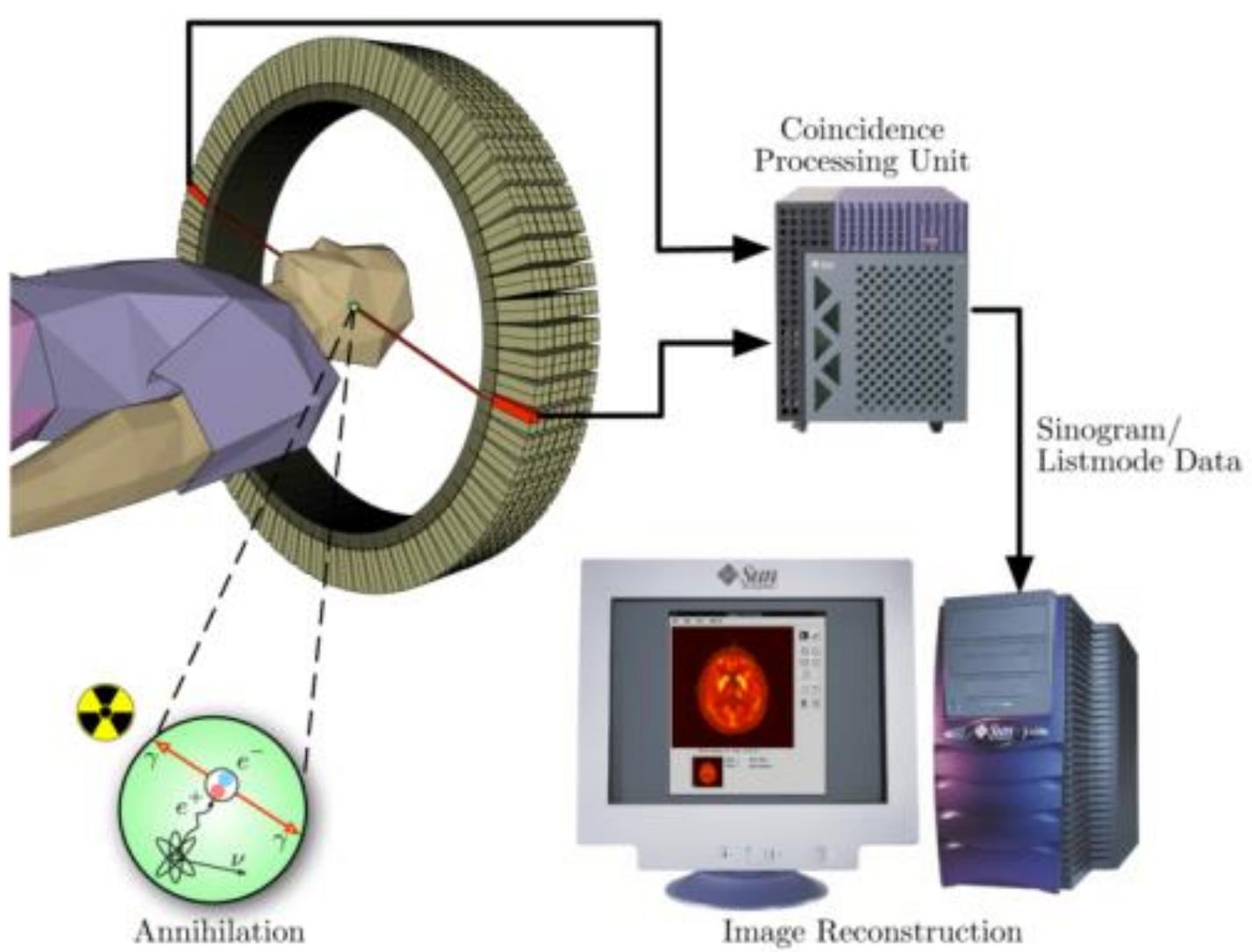


AMOC

- 寿命 - γ 能量 (AMOC)
- γ 能量 - γ 能量 (CDB)

- **符合多普勒展宽测量** (CDB, Coincidence Doppler broadening Spectroscopy)
- **正电子寿命(年龄)-动量关联** (AMOC, Positron Age-Momentum Correlation)
- **正电子寿命(年龄)-幅度关联** (2D-PALS, Positron Age-Pulse Height)

同类型探测器系统(正电子成像PET)的应用





总结和展望

- 缪子的前沿科学研究方兴未艾，精确检验QED理论，稀有物理过程是研究超越SM新物理的极佳工具。
- MACE和COMET等前沿科学实验的进步离不开粒子探测技术的突破。
- 本地缪子实验室SMOOTH，已开发了多种探测器：宇生缪子探测器、束流监测探测器和 μ SR样机等。
- 缪子束流监测器的研制成功，为高分辨探测器技术的积累打下了坚实的基础。
- 希望同类型探测器在多学科应用方面也可以全面开花，我们正在研制具有中子探测能力的新型塑闪，静待佳音。
- 请大家多多指点和帮忙，做大做强，合作共赢！

谢谢！

- 感谢中国散裂中子源同事们的鼎力支持！
- 感谢IHEP唐靖宇、袁野、李海波、张瑶等共同推动加速器缪子源的前沿物理研究。
- 感谢USTC封常青老师课题组助力电子学读出系统的研制。
- 感谢中大陈羽等同事共同参加预研。
- 感谢国家自然科学基金12075326、广东省自然科学基金等项目给与经费支持。
- 感谢中大物理学院提供有效支持，感谢给力的本科生们！

