



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



The Chinese Academy
of Sciences

卓越中心

2020年个人工作总结汇报

钱森

中国科学院高能物理研究所，实验物理中心，探测器三组

qians@ihep.ac.cn

2020年12月05日

> 1.0 个人基本情况

时间	单位	学科	类别	主要工作
2000年9月~ ~2004年6月	北京师范大学 (低能核物理研究所)	材料物理	理学 学士	--
2004年9月~ ~2009年5月	中国科学院 高能物理研究所	粒子物理与原子核物理 方向：粒子物理实验 导师：王贻芳 院士	理学 博士	BESIII
2009年5月~ ~2011年2月	中国科学院 高能物理研究所	核电子学与核探测技术 合作导师：王贻芳院士	工学 博士后	BESIII+DayaBay
2011年2月~ ~2012年6月	中国科学院 高能物理研究所	新型光电倍增管研制 DayaBay (MCP-PMT)	助理 研究员	JUNO CEPC LHCb?
2012年6月~ ~2019年2月	中国科学院 高能物理研究所	新型探光电倍增管研制 (MCP-PMT) + JUNO	副研究员	
2019年3月~ ~至今	中国科学院 高能物理研究所	新型探光电倍增管研制 CEPC+ JUNO	特聘青年 研究员	

一直参加大科学工程：BESIII→ DayaBay→ JUNO→ CEPC;

主要从事探测器硬件研发工作。

不同阶段工作重心统计表

			
2005年-2011年	2008年-2009年	2009年-至今	2018年-至今
1. BESIII-MUC探测器研制，量产，安装，调试，运行维护； 2. BESIII-气体比分监测器GRM研制、运行维护； 3. BESIII-TOF 探测器运行维护工作（3年）； 4. BESIII-ETOF升级MRPC研制及测试；	1. RPC探测器气体比分研究，降低异丁烷比例从8%到安全阈值4%；	1. 20吋新型MCP-PMT研制开发，性能研究，质量控制； 2. 20吋PMT批量测试方案提出，测试平台研发，建设； 3. 大面积PMT测试方法标准化（企业标准，国家标准）； 4. 光电器件用电子学开发（高压、低压、放大器等）	1. 快时间分辨多阳极FPMT研发； 2. 快速时间探测器研制（Fast Timing Detector） 3. n/γ晶体； 4. SiPM快电子学

I. 学术思想：利用综合技术开发优异的探测器，以便进行开拓性的粒子物理试验。

II. 主要贡献：大科学工程任务 + 新型探测器科研工作：

在承担紧迫的工程任务的同时，同步进行科学研究工作。

大 纲

➤ 一. 主要工程/科研工作:

- JUNO {
- (1) : 20吋LPMT批量测试质量控制;
 - (2) : 20吋LPMT光电倍增管非常规性能研究;
 - (3) : 20吋LPMT的国际市场化工作;
 - (4) : MCP-PMT合作组工作;
- CEPC {
- (5) : 快时间分辨多阳极FMCP-PMT研制工作;
 - (6) : SiPM快时间性能研究工作;
 - (7) : 基于快时间分辨的 n/γ 方案研究;
 - (8) : 散裂中子源束流实验;

➤ 二. 主要科研成果:

- ①: 基金申请情况;
- ②: 学术会议情况;
- ③: 科技文章, 专利 情况;

➤ JUNO用 20吋 MCP-PMT 研发 (时间) 路线图



2009

Design

2010-2013

5"(8") prototype
Transmission
+reflection

2014-2015

20" prototype
Transmission
+reflection

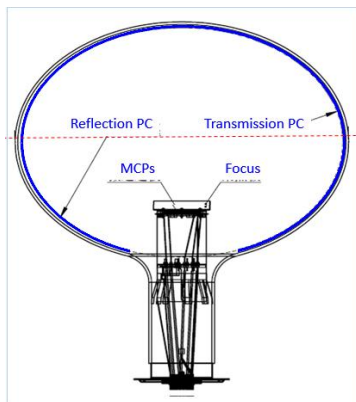
2016

HQE
Production line
batch test sys

Mass
production

2017-2020

Batch
test



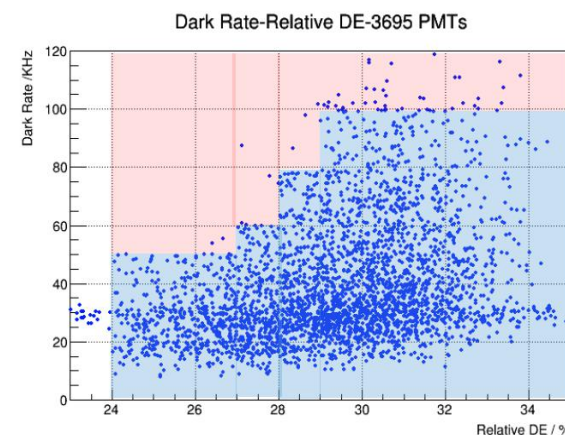
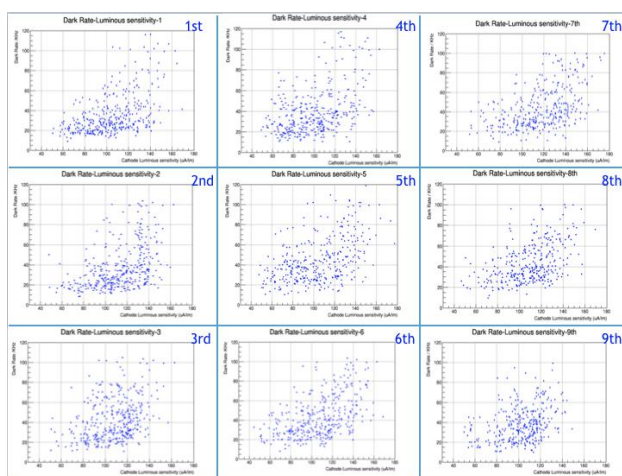
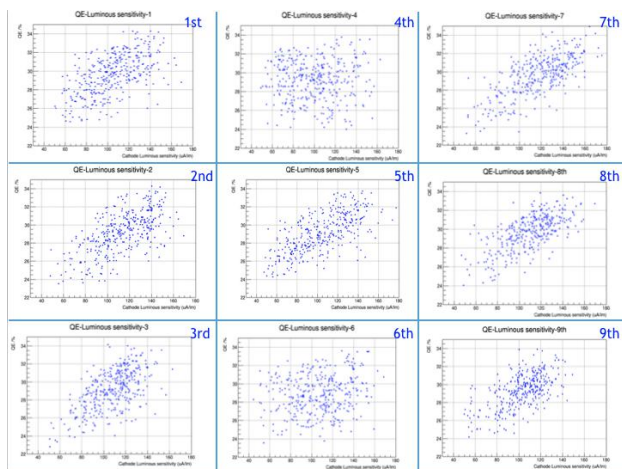
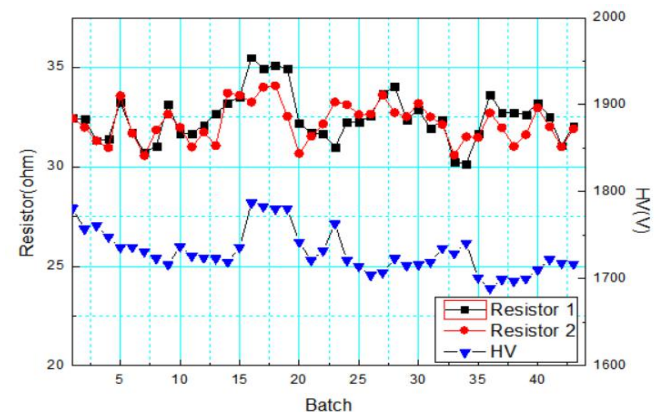
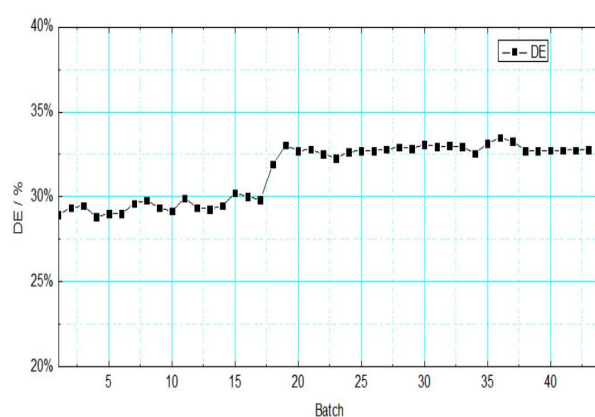
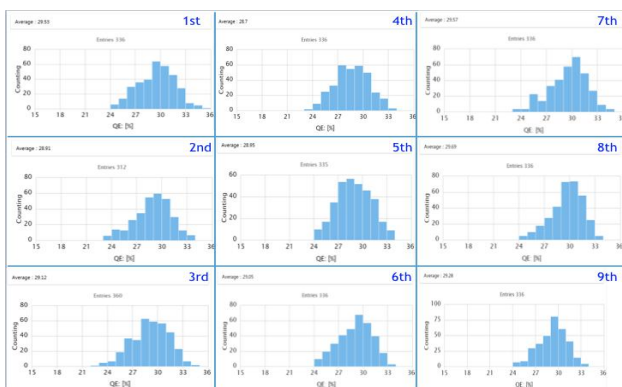
➤ (1) 20吋LPMT批量测试质量控制

--20吋MCP-PMT在南京生产，通过卡车运输到江门泛亚现场，每次336只一批；--
每隔20-30天发送一次，发送前，测试数据要进行检查，再明确发货；

- 2009: 新型方案设计;
- 2010-2015: 样管研制阶段;
- 2016: 批量生产线建设+
批量测试平台建设;
- 2017-2019: 批量生产+批量测试;
- 2017.05.17: 第一批336只发货;
- -----
- 2019.05.09: 第29批共9743只发货;
- 2019.06.010: 第30批共10000 只发货;
- -----
- 2020.06.09: 第43批共14446只发货;
- 2020.06.09: 核学会主办科技成果鉴定会;
- 2020.09.07: 15K发货仪式;



1. 建立数据库分析管理批量测试数据 (15个参数的数据相关性分析);
2. 每批336只参数统计分析, 相关性分析及质量控制要求反馈; 撰写测试总结报告提交合作组。
截止目前已共51批, 16000多只PMT的数据分析, 每次数据分析报告, 要出图100多张。
(各种直方图, 长期趋势图, 相关性分析图, 质量控制预测图等等)
3. 代表NNVT积极配合JUNO批量测试工作, 对比NNVT和泛亚测试结果的差异, 解决在测试方面的分歧, 建立可信验收方案;



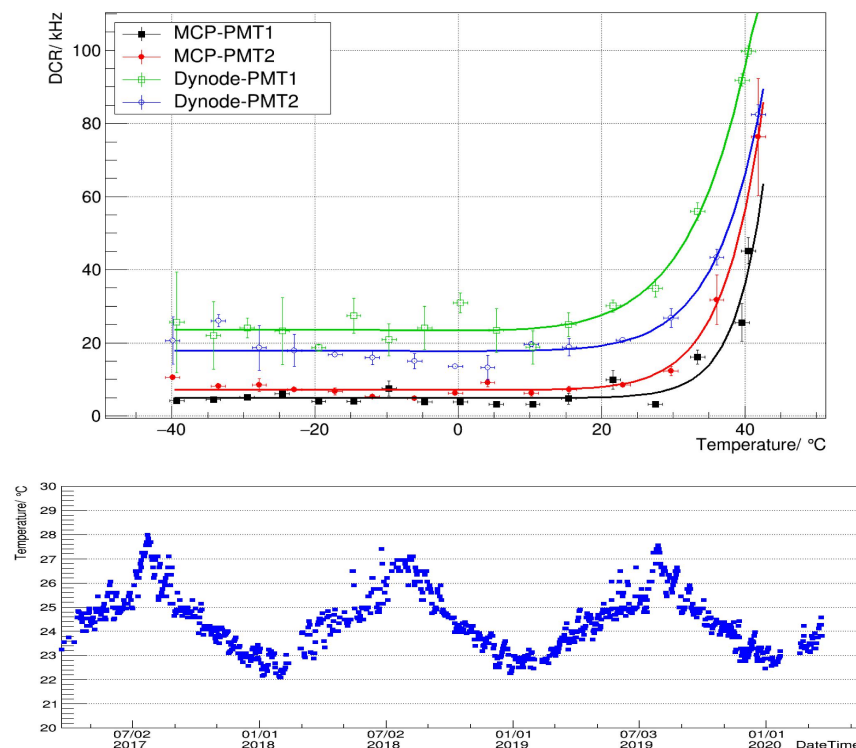
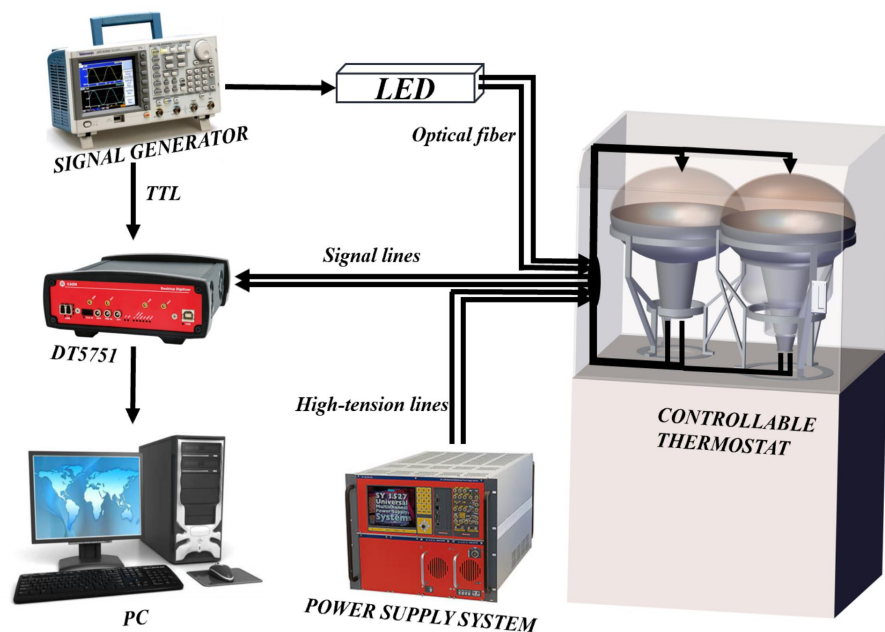
➤ (2) 20吋PMT非常规性能研究-- ① 温度效应

研究背景：批量数据多个参数随季节呈现周期性变化，进行温度修正，提升测试精度；

实验方案：在 -45°C -- $+45^{\circ}\text{C}$ 暗箱内，获取PMT的信号波形，分析(幅度/TTS/DCR/Gain)变温变化；

研究人员：硕士研究生李海涛（中山大学->北方夜视南京），**已完成**，JINST发表。

研究成果：对PMT（Dynode, MCP）温度效应进行精细修正。在合作组会议报告。



20-40 $^{\circ}\text{C}$ ，是PMT性能随温度变化比较敏感的区域，修正后DR下降约20%

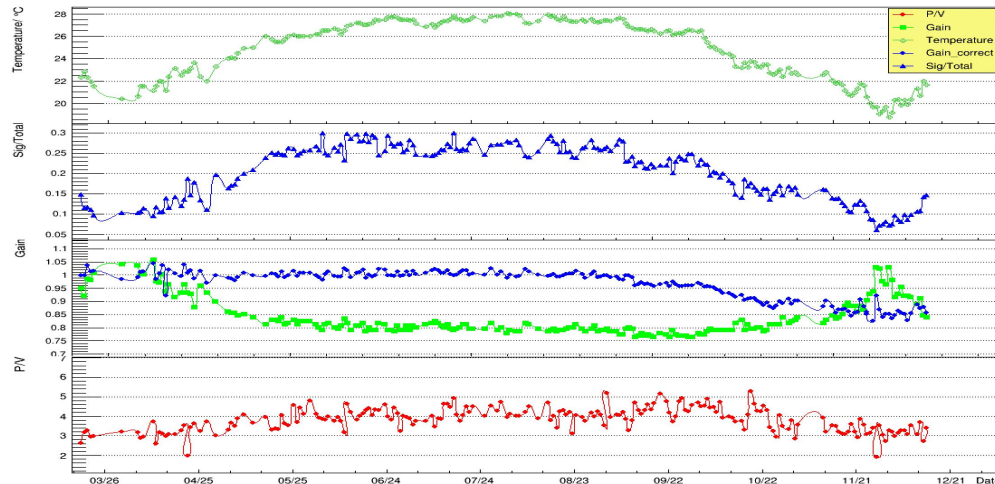
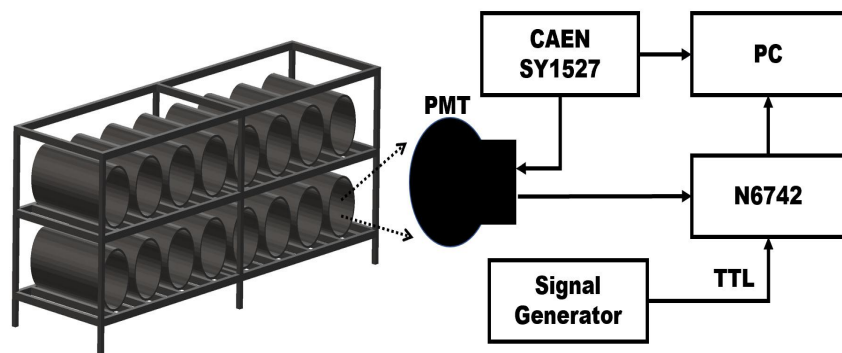
➤ (2) 20吋PMT非常规性能研究-- ② 常态老化实验

研究背景：不同特性MCP-PMT在正常工作环境下的小批量老化实验需求。由于占用一套电子学和专人负责测试，合作组需求，NNVT没法实现，由IHEP来完成。

实验方案：16只PMT常态工作，监测器常态工作稳定性，每天都要使用NIM+Scaler手动取数，NIM-FADC自动取数，从2018年12月开始，已取数500多次（三年）；

研究人员：硕士研究生：李海涛，彭硕（高能所研究生）持续进行中ing，

研究成果：明确了MCP-PMT常态老化特性，为今后联调和运行积累参考数据。



持续监测16只PMT在正常工作时的各种性能变化，可以对数据进行温度修正。

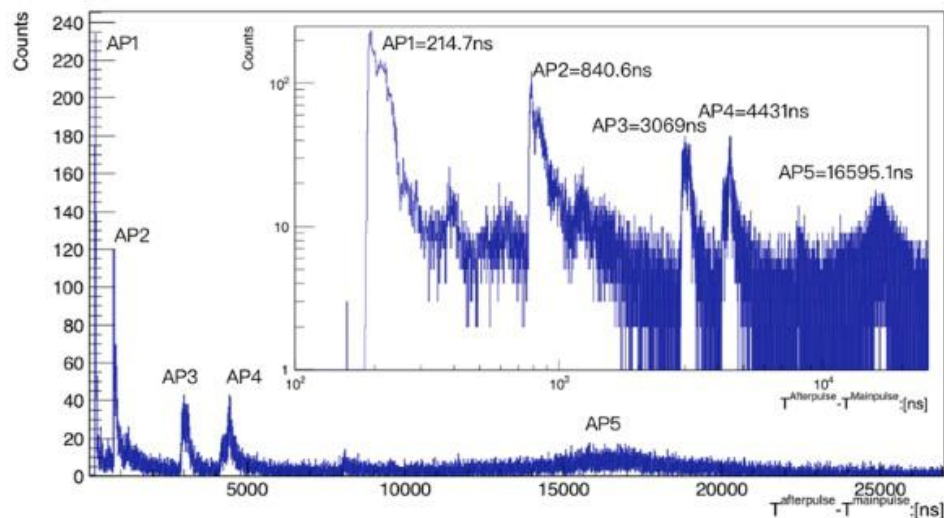
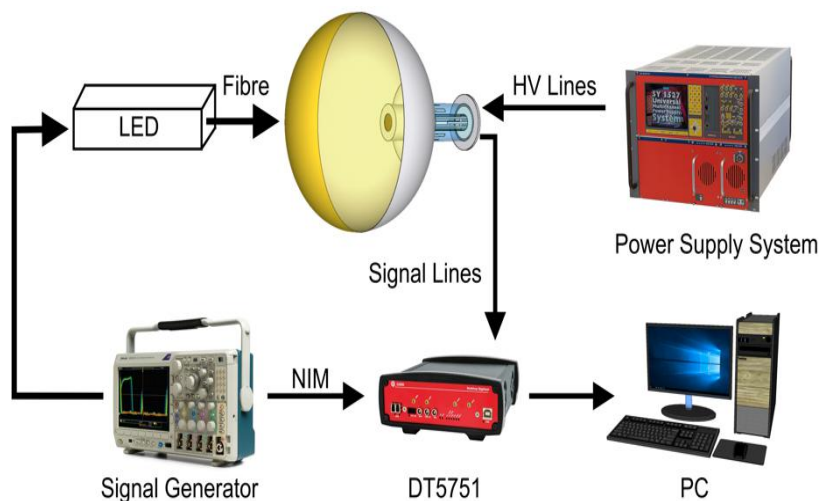
➤ (2) 20吋PMT非常规性能研究-- ③ 后脉冲测试

研究背景：NNVT与泛亚在APR测试的差异；HQE-MCP-PMT的APR没有仔细研究

实验方案：使用FADC获取波形，IHEP实验室研究方案，NNVT现场小批量测试得到统计结果；

研究人员：本科毕设生吴琪，(国科大研究生)，**已完成**，撰写NIMA英文文章投稿中。

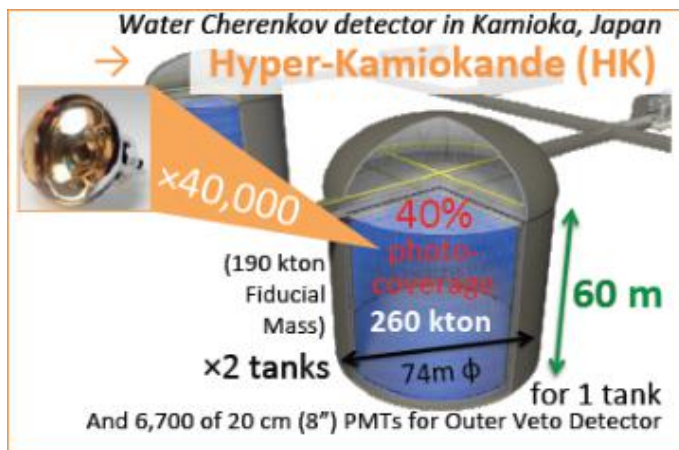
研究成果：明确了MCP-PMT在采用高量方案后，APR与低量差别明显，分析原因及给出统计值。



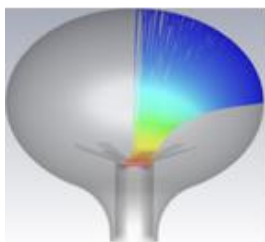
高量MCP-PMT，由于其工艺的改变，其后脉冲分布比打拿极更为复杂，APR~6.5%；并提出快速测试此款样管后脉冲的批量测试方案。

➤ (3) 20吋LPMT的国际市场化工作;

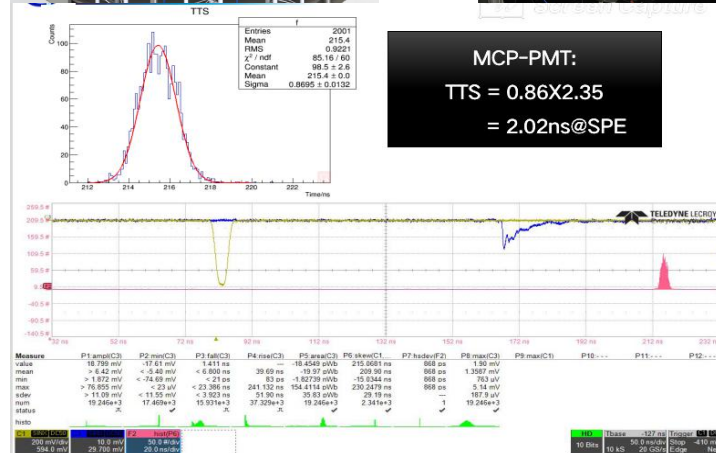
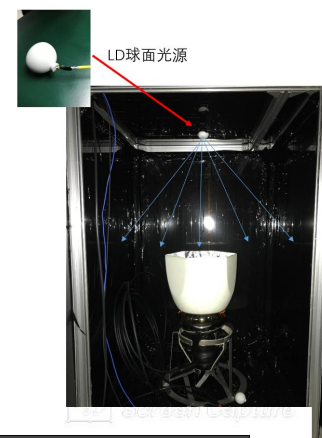
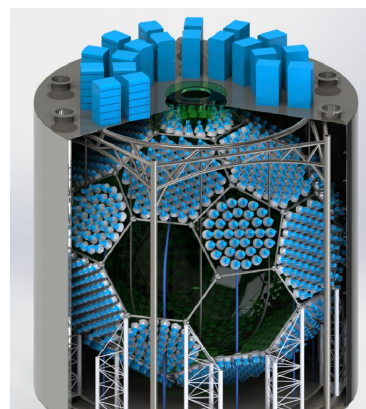
日本HyperK / 韩国KNO项目用PMT跟进



Flower-like focusing electrode



清华JP中微子项目用PMT跟进



----对改进的20吋PMT详细性能评估;
----对提供日本HyperK的样管进行性能最终评判和标定。

(可惜2020没中标, 看明年的情况!);

--帮助NNVT改进和提升8吋PMT时间特性;
--第三方实验室评测滨松和NNVT的样管;
--招标前夜完成对比测试: 技术层面确保
NNVT拿到清华600只的订单。

大 纲

➤ 一. 主要工程/科研工作:

- JUNO {
- (1) : 20吋LPMT批量测试质量控制;
 - (2) : 20吋LPMT光电倍增管非常规性能研究;
 - (3) : 20吋LPMT的国际市场化工作;
 - (4) : MCP-PMT合作组工作;
- CEPC {
- (5) : 快时间分辨多阳极FMCP-PMT研制工作;
 - (6) : SiPM快时间性能研究工作;
 - (7) : 基于快时间分辨的探测器应用方案研究;
 - (8) : 散裂中子源束流实验;

➤ 二. 主要科研成果:

- ①: 基金申请情况;
- ②: 学术会议情况;
- ③: 科技文章, 专利 情况;

> (5) 快时间分辨多阳极FMCP-PMT研制工作

研究背景：针对CEPC和TOF-PET等对超高速位敏光电倍增管的需求，研制开发FPMT；

实验方案：研制开发单光子50ps时间分辨，8X8阳极读出的FPMT；

研究人员：在LPMT合作组的基础上，结合“王贻芳院士专家工作站”成员，成立新的FPMT合作组。

博士研究生：朱瑶（哈工大），马丽双（哈工大）；

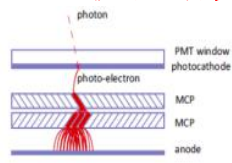
硕士研究生：王阳（天津理工，毕业），颜敏（川大），吴琪，彭硕；

研究成果：1ch，4ch，16ch样管可测，64阳样管制作；（很好的进展结果，合作组要求不公开）

2. 完成CST模拟+G4模拟的结合，构建的FPMT模型的（增益、时间特性）模拟结果和样管测试结果基本一致，可以实现理论模拟指导样管设计工作，正在撰写3个设计的专利。

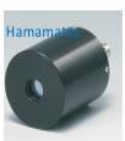
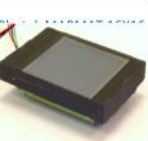
3. 实验室测试的最好样管多光子时间分辨17ps；……………

4. 联合培养学生毕业需要SCI文章，分别同步开展FPMT的应用研究，发文章。



位置敏感型MCP-PMT：

1. 抗磁场能力强：2T-3T；
2. 时间分辨好：~极限20ps；
3. 位置分辨：~极限~10um

快速近贴聚焦型 FPMT （单通道）		多阳极快速近贴聚焦型 MCP-PMT		
				
优势	抗磁场能力强~3T；时间分辨~50ps；位置分辨~100um；			
不足	价格昂贵，单阳极~10万/只，多阳极15~20万/只；面临禁运的风险			



The R&D of the Ultra Fast 8X8 Readout MCP-PMTs

Sen QIAN (钱森), On Behalf of the MCP-PMT Workgroup

Institute of High energy Physics, Chinese Academy of Science

qians@ihep.ac.cn

30th. July. 2020

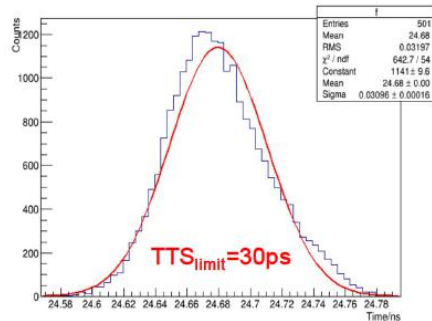
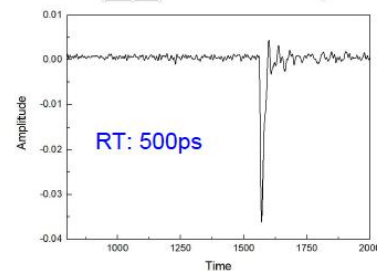
ICHEP 2020 | PRAGUE

28 July 2020 to 6 August 2020

virtual conference

> 4.3 2 inch 8X8 anode FPMT prototypes

17

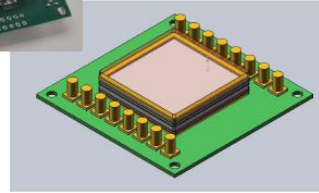


----Due to the impact of the new coronavirus epidemic (COVID-19), 8x8 anode FPMT sample tubes are currently being developed, not achieve our aims on time.

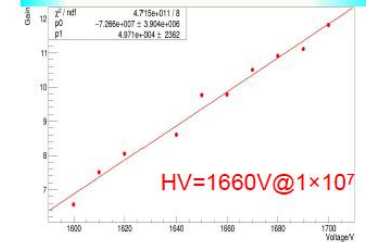
----Only the first version of the prototype has been obtained, and more work needs to be improved.

> 4.2 2 inch 4X4 anode FPMT prototypes

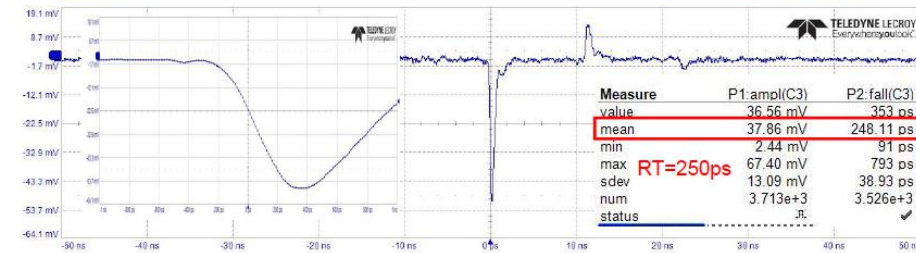
15



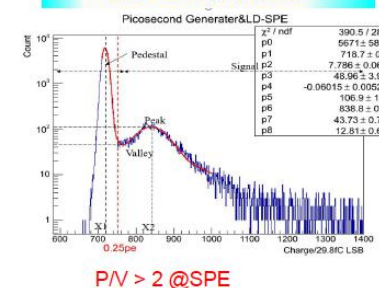
The Gain vs HV of the FPMTs



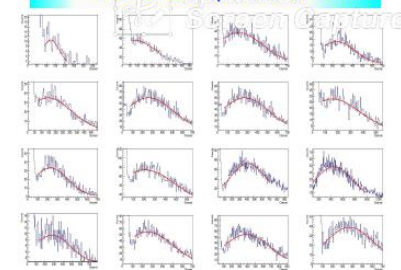
The Waveform of the 4X4 readout FPMT prototype



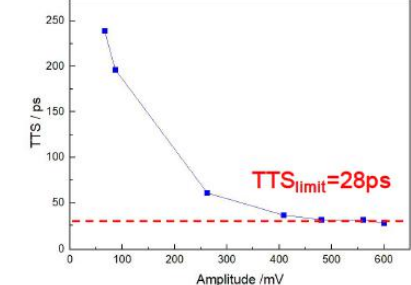
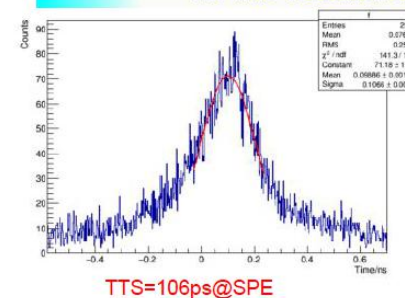
The SPE of FPMTs



The SPE map of 16CH FPMTs



The Time Resolution of the 4X4 readout FPMT prototype



➤ (6) SiPM快时间性能研究工作

研究背景： SiPM的时间分辨下限是多少？为FPMT研究测试方案的开发提供对标样管；

实验方案： 基于核探测器与核电子学国家重点实验室--对外开放课题，联合企业，

开发两款SiPM驱动板：高精度低压电源 + 快前放。

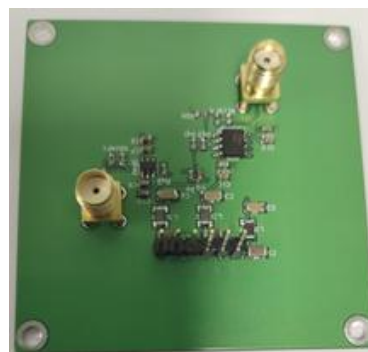
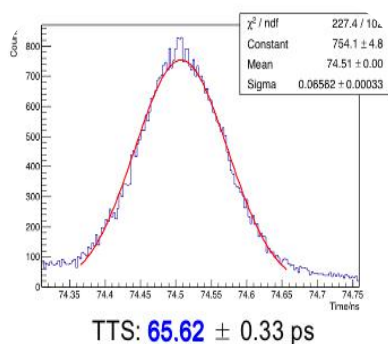
研究人员： 硕士研究生，陈鹏宇 (北工大)，，郭浩 (北工大)，**已完成。**

研究成果： ① **完成三版SiPM-Hama驱动板的开发，单光子性能可比拟；** 具有快速时间分辨的特性！同一只MPPC，不同驱动板，相同增益和光子数，**TTS分别为314ps (Ham) 和65ps (EB.V3)**

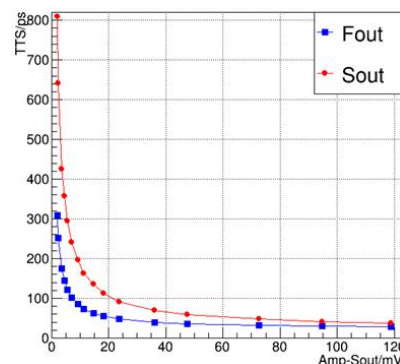
② **完成三版SiPM-Sens1驱动板的开发，性能可比拟；** S-out输出测试SPE，F-out输出测试时间特性，信号输出具有相关性，**F-out极限时间分辨24ps。**



SiPM-Hama驱动板



SiPM-Sens1驱动板



----已经成功在放射源和束流实验中应用，很方便标定测试FPMT的各种系统。

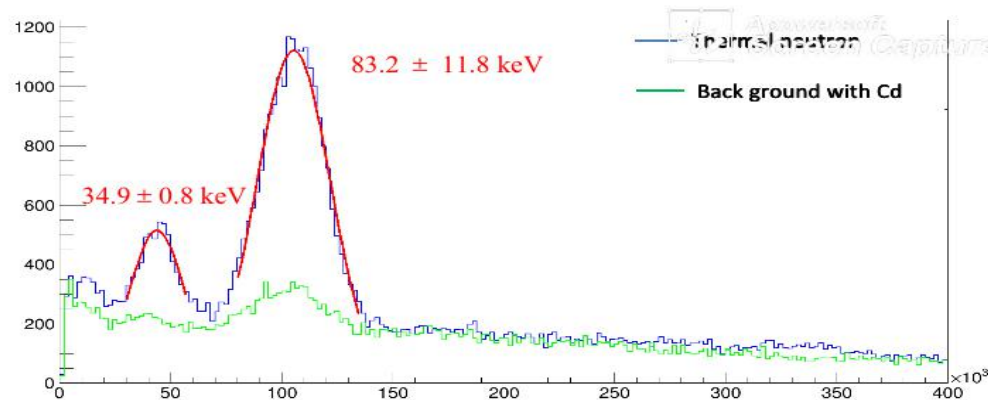
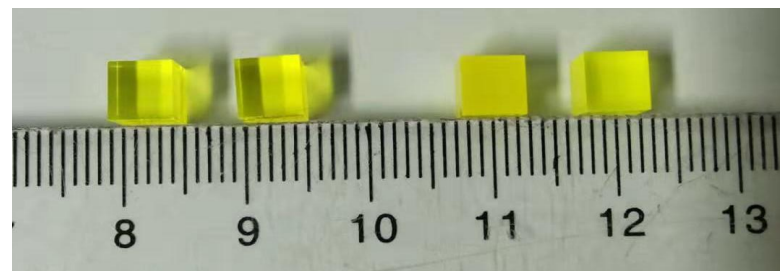
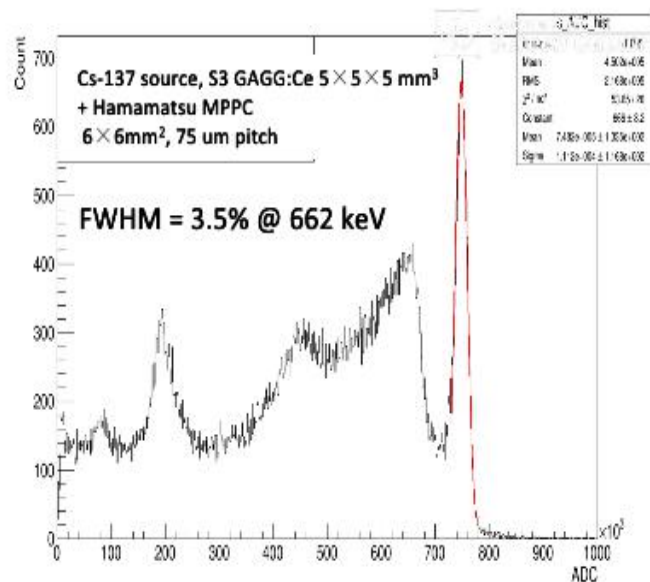
➤ (7) 基于快时间分辨的探测器应用方案研究---① 核探测n/γ甄别；

研究背景：2018年，NIMA审稿时发现的一款新型中子敏感晶体；抗辐照能力强；高光产额；发光光谱540nm，非常匹配SiPM；**可以做ECAL（卫星）的晶体。当时国内没人做。**

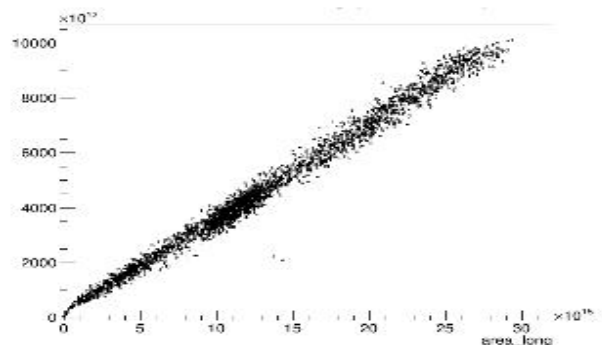
研究方案：在核探测器与核电子学国家重点实验室--自主部署重点项目的资助下，联合中科院的两家研究所，两家晶体企业合作，研发此款晶体，开展相关实验。

研究结果：① 已经测试了20多个样品，最好的能量分辨率达到3.5%（文献为5%）；

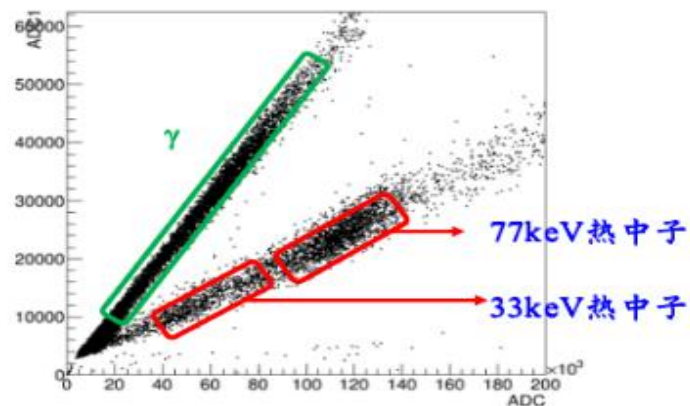
② 完成各种gamma、中子放射源实验，可以实现n/gamma分辨。



- 使用FPMT，利用PSD的算法，成功实现GAGG符合晶体的Q-PSD鉴别！

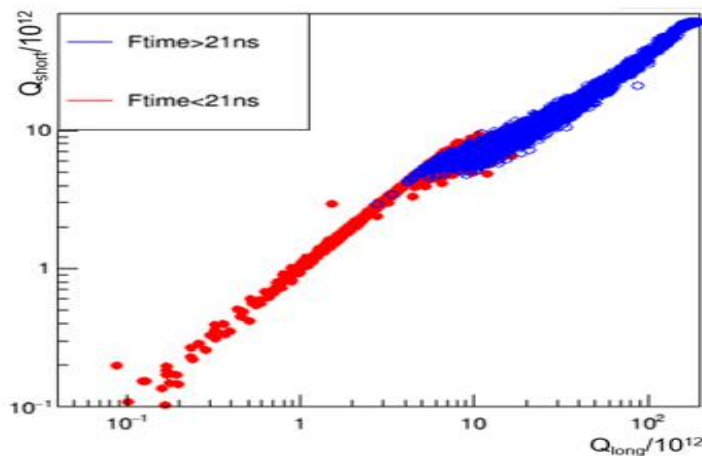
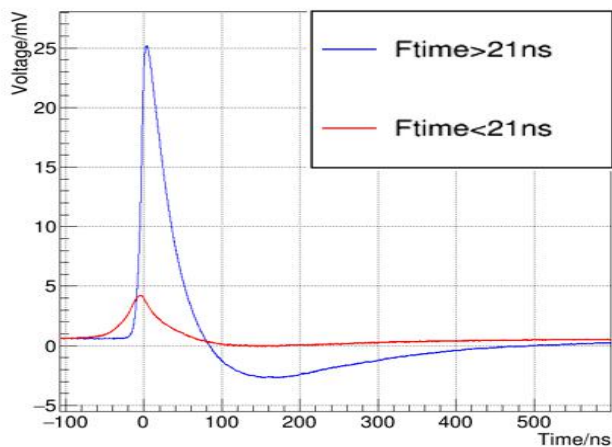


使用常规PMT耦合GAGG的复合晶体结构
测量结果——无法甄别n/ γ



使用超快FPMT耦合GAGG的复合晶体结构
测量结果——n/ γ 甄别

- 根据下降时间信息，挑选事例，利用PSD的算法，成功实现GAGG的T-PSD鉴别！



完成了实验室放射源和散裂中子束流的验证试验，
探测器设计方案，专利已经申请，文章也在撰写中。

➤ (7) 基于快时间分辨的探测器应用方案研究---② 实验束T0探测器研制；

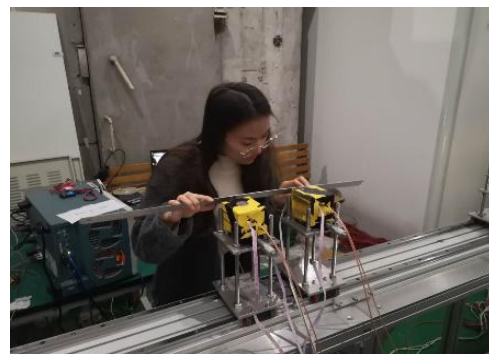
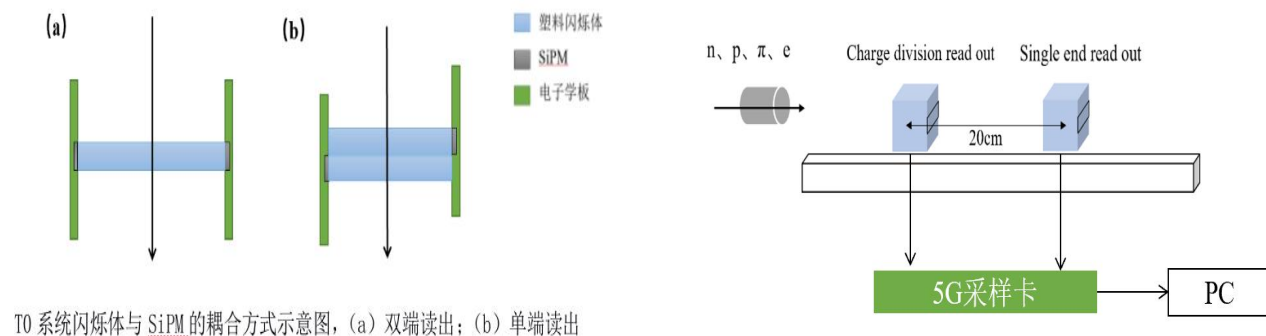
研究背景： IHEP的E3束流升级改造，没有T0探测器， 组装一个时间分辨率为30 ps的T0探测器的测试系统。**实验中心安排任务（无经费支持做贡献）**

实验方案： 采用快速SiPM作为光电转换器件耦合BC420；再升级为FPMT的T0探测器。

研究人员： 硕士研究生：颜敏（四川大学）

研究进展： 已经完成基于Si-PMT的T0组件的安装和束流调试，束流有效事例率过低，正在实验室宇宙线测试中。

单阳极FPMT已经组装完毕，国产快速塑闪也在加工中。



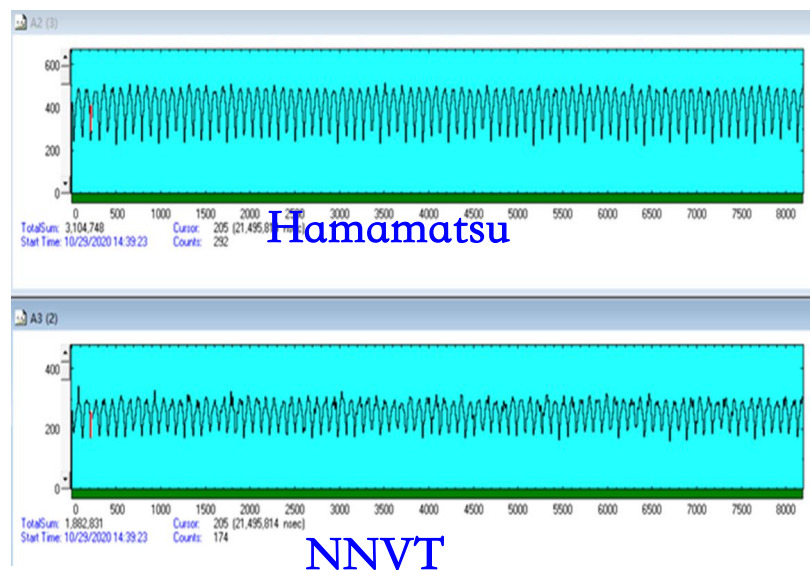
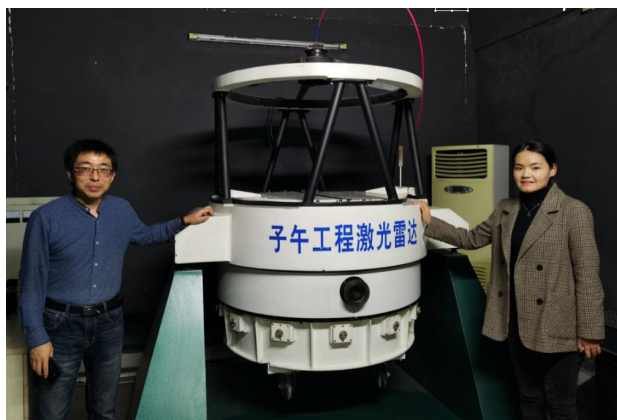
➤ (7) 基于快时间分辨的探测器应用方案研究---③大气激光雷达应用；

研究背景：在科学院条财局协调下和武汉精密测量院对接，研究基于FPMT的光子计数器在子午激光雷达中的应用，并与滨松计数器进行对比，实现激光雷达用PMT国产化；

实验方案：使用采集卡对PMT计数器（已完成Dynode-PMT，在计划MCP-PMT）的计数能力、动态范围等性能进行测试。计划开展多次联合实验。

研究人员：博士生马丽双，

研究成果：快时间相应和大动态范围，有利于激光雷达的精度提升。



激光雷达系统中实际测试显示，NNVT的光子计数器可应用与523nm波段的大气激光雷达测试，589nm波段正在测试中。



(8) 散裂中子源束流实验；

研究背景： ① 研究中子晶体样品（CLYC，GAGG等7个样品）的 n/γ 甄别能力；
② 对比研究国产，进口FPMT的，SiPM的中子辐照特性；
③ 验证”基于快时间分辨中子晶体 n/γ 甄别方案“

实验方案： 紧急申请散裂中子源实验，热中子实验和白光实验；

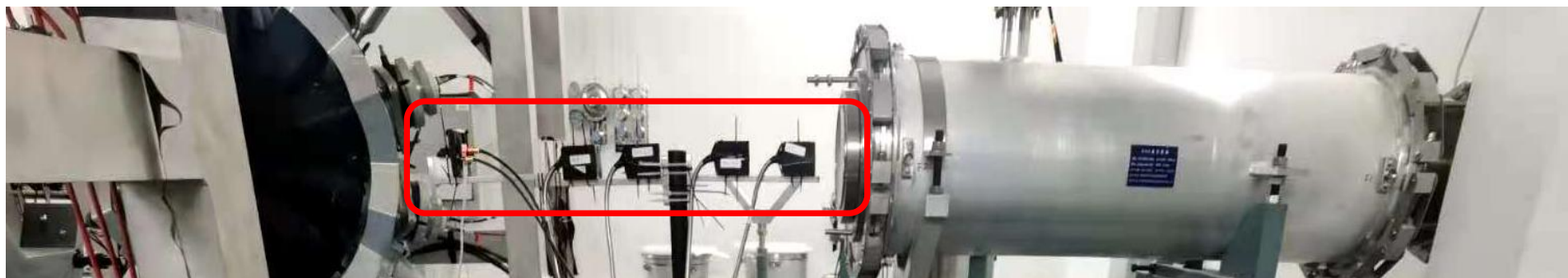
第一次进行中子束流实验，做了充分的备份实验方案计划。

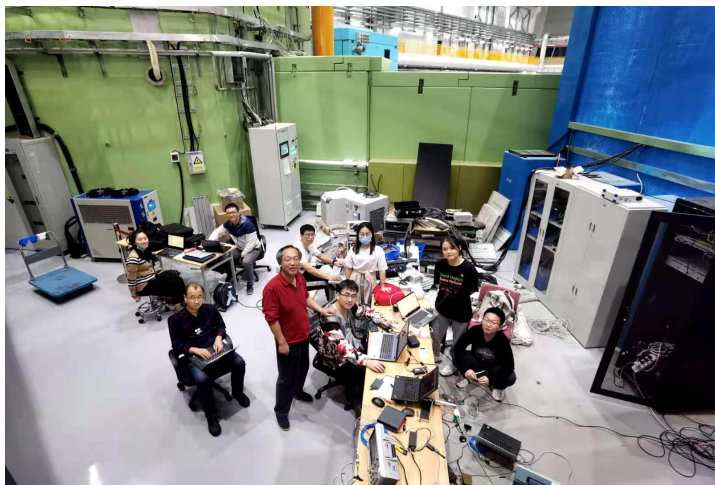
安装实验样品介绍 (11.15-16)； 24h

热中子Q-PSD测试 (11.17-18)； 42h： 多阳极PMT+晶体阵列测试，4X3种样品组合方案；

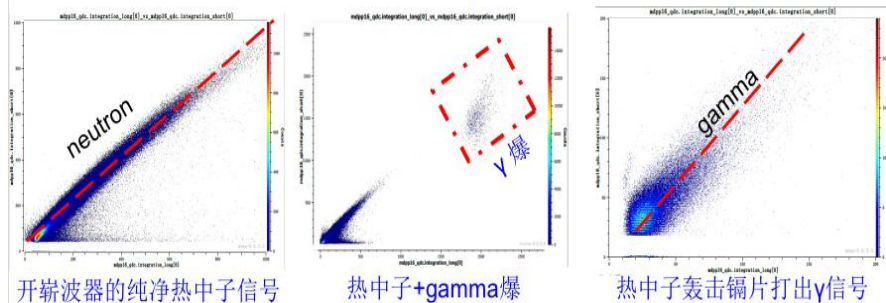
白光中子T-PSD测试(11.19-20)； 24h： FPMT+快速波形采样，5X4=20种样品组合测试；

散裂中子源白光实验束上晶体样品阵列串测试示意图

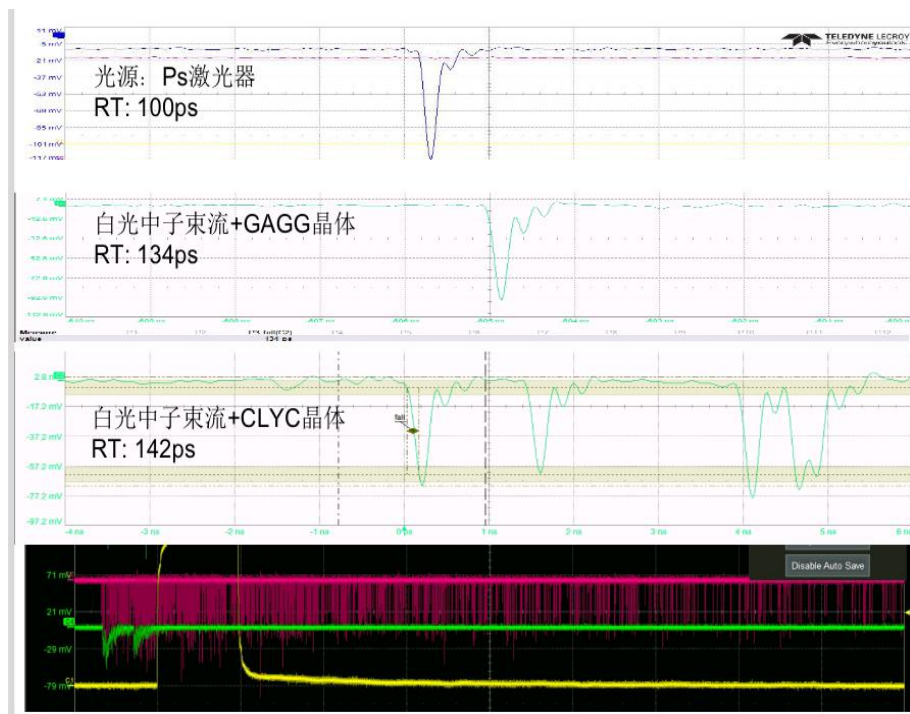
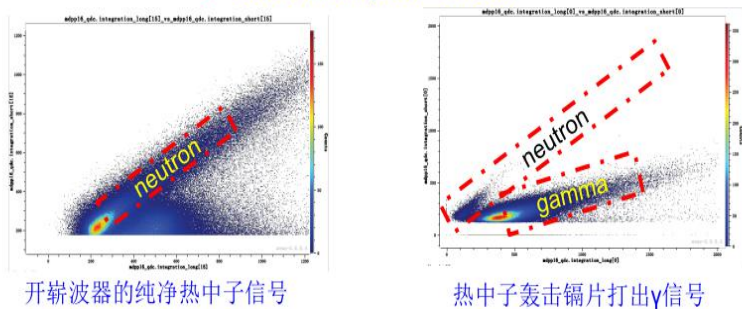




➤ GAGG复合晶体n/γ甄别--Q-PSD



➤ CLYC 晶体n/γ甄别--Q-PSD



在承担紧迫的大科学工程任务同时，将工程方案的科学问题深化研究，积极申请各种基金资助，同步开展相关科学研究工作。

时间	类型	题目	经费	排名
2013-2019	中国科学院先导专项	江门中微子实验 子课题4 光电倍增管研制	?	第二
2017-2020	国家自然科学基金面上项目	光电探测器件性能标定方法研究	80万	负责人
2017-2020	中国科学院青年促进会	新型光电探测器件研发	80万	负责人
2019-2020	中国科学院科技促进经济社会发展项目 (STS区域重点)	超高速位置敏感型FPMT研制	200万	负责人
2019-2020	核探测器与核电子学国家重点实验室自主研发课题（重点）	基于快速时间分辨的热中子探测器研制	80万	负责人

四个课题面临结题，大量的文档总结、档案整理和财务工作，对我来说”挑战“；
 同时也在积极申请新的课题，延续相关科研项目。

➤ 2.2 参加国际/国内学术会议情况 (I)

◇国际学术交流 (International visit) 研究进展邀请报告(Research Techniques Seminar) 无

◆ 国际学术会议 (International Conference:) 口头报告(Oral Presentation) (On line)

2020.07.28-0802, ICHEP 2020:

报告1: The Large Area MCP-PMT for Neutrino Detector

报告2: The R&D of the Ultra Fast 8X8 Readout MCP-PMTs

2020.10.13-10.20, IEEE RT 2020

报告3: How to improve the performance of the fast timing

Poster 1: The Study of Test Method on Time Characteristic for ultra-fast Photodetectors

Poster 2: Study on the time characteristics of fast MPPC based on 40GS/s real-time oscilloscope

2020.10.23-11.02, IEEE NSS/MIC/RTSD 2020

报告4: The Performance Simulation and Structure Optimization of Small Fast MCP-PMT

Poster3: Performance study of GAGG:Ce scintillator with SiPM

感慨: Online 国际会议就是好! 无差旅费, 无注册费支出, 会议文章照发, 无成本!

◇国内学术交流、研究进展的 邀请报告 (Research Techniques Seminar) (1次)

20200927 武汉精密测量研究员, FPMT在激光雷达中应用讨论;

◇国内学术会议 邀请报告 (Invited Oral Presentation)

2020.10.08-10.10, 大连, 科学仪器自主研制创新论坛 (探测器专题) ----中科院条财局主办;

2020.11.21-11.23, 南京, 第二届人工晶体材料青年学术会议;

➤ 2.2 参加国际/国内学术会议情况（II）

◇ 国内PMT学术会议（主办+报告）

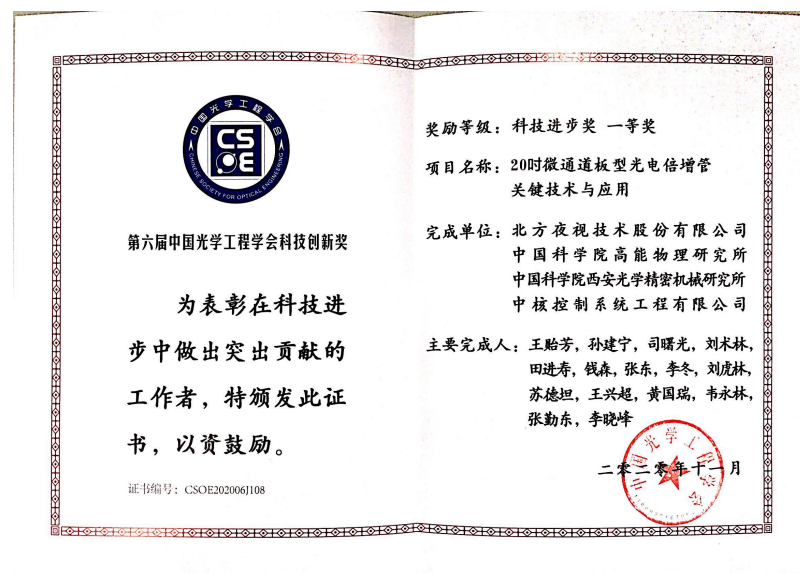
时间	地点	会议名称	内容
20200417	在线	第三十八次MCP-PMT（LPMT）合作组会议	主办，报告
20200608	南京	核学会主办LPMT成果鉴定会	承办
20200907	南京	15000只20吋 MCP-PMT发货仪式	主办，报告
20201209	南京	第三十九次MCP-PMT（LPMT）合作组会议	主办，报告
20200417	在线	第八次FPMT合作组会议	主办，报告
20200717	在线	第九次FPMT合作组会议	主办，报告
20200907	南京	第十次FPMT合作组会议	主办，报告
20201209	南京	第十一次FPMT合作组会议	主办，报告

◇ 负责组织MCP-PMT合作组成果报奖事宜

- ◇① 中国光学工程学会---科技进步一等奖申报（已完成）；
- ◇② 云南省---科技进步一等奖申报（答辩完成）；
- ◇③ 中国产学研促进会---科技进步一等奖申报（进行中）；
- ◇④ 国家科技进步一等奖申报（准备启动）；

◇ 负责组织20吋MCP-PMT测试标准申报

- ◇① 企业标准制定----（已完成）；
- ◇② 国家标准制定----（已启动）；



➤ 2.3 科技文章撰写、发表，专利及审稿情况（1）

◆ Journal of Instrumentation (JINST) : (SCI) 4篇（已发表）

学术论文：2篇：MCP-PMT-Flasher；温度效应，

2019年CHEF会议论文：2篇：GAGG晶体研究；SiPM+驱动板开发

◆ 会议论文集 IEEE Transactions on Nuclear Science: (SCI) 5篇（已投稿）

会议 IEEE RT 2020: 3篇

会议 IEEE NSS/MIC/RTSD 2020: 2篇

◆ 会议论文集（国际会议）PoS - Proceedings of Science (EI) 2篇（已提交）

会议 ICHEP 2020: 2篇

◆ 专利：关于光电探测新方案新方法的专利：提交申请4项；

--> (PMT相关评审) --> :

- ① 自然科学基金面上项目、青年项目 的函评评委；
- ② 核探测器与核电子学国家重点实验室项目函评；
- ③ NIMA, RTDM, NS, 核技术, 核探测器与核电子学等期刊审稿人。
- ④ 陕西省自然科学基金函评；
- ⑤ 山西省专利金奖函评；

总 结

JUNO {

- (1) : 20吋LPMT批量测试质量控制 (10%) ;
- (2) : 20吋LPMT光电倍增管非常规性能研究 (25%) ;
- (3) : 20吋LPMT的国际市场化工作 (5%) ;
- (4) : MCP-PMT合作组工作;

CEPC {

- (5) : 快时间分辨多阳极FMCP-PMT研制工作 (30%) (最紧迫!) ;
- (6) : SiPM快时间性能研究工作 (10%) (最轻松!) ;
- (7) : 基于快时间分辨的探测器应用方案研究 (20%) (最重要!) ;
- (8) : 散裂中子源束流实验 (最运气!) ;

---> 参加战略研讨会, 参加Snowmass的会议, 参加国内探测器战略规划, 参加多个项目指南撰写, 各种基金、专利、文章的评审, 接触最前沿的进展, ……

如何形成自己的科研题目或者探测器新设计? 实现探测器技术的积累和预研?

--> 从事PMT相关工作10年了! 建立了非常好的实验室和平台, 如何在今后新型探测器研发中发挥优势, 如何做出创新性的工作, 而不是简单的跟踪模仿?