

赵忠尧博士后评审报告

报告人：罗凤姣 高能所 实验物理中心

博士生导师：陈元柏研究员 衡月昆研究员

博士后合作导师：衡月昆研究员

主要内容

★ 个人简历

★ 既往工作进展及成果

- 研究背景
- 科研内容
- 发表文章、国际会议

★ 未来工作计划

个人简历

★ 教育背景

- 2009年—2013年：南华大学 核物理 本科；
- 2013年—至今：高能所 粒子物理与原子核物理 硕博连读；

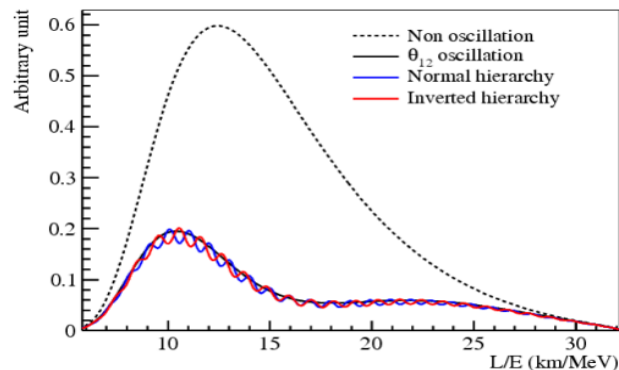
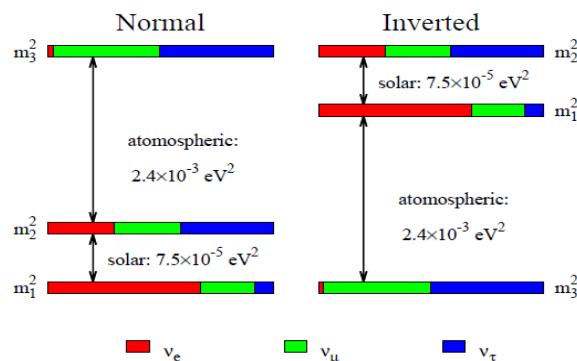
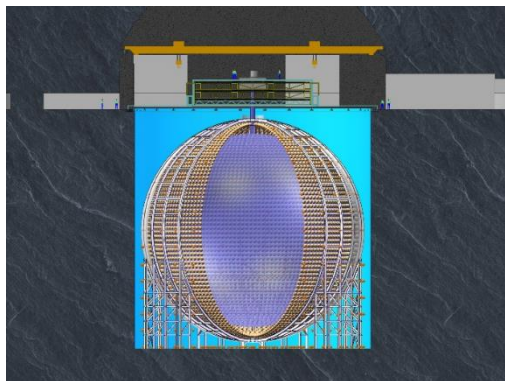
★ 获奖情况

- 2017年，高能所所长奖学金；
- 2015-2017年，连续2年荣获中国科学院“三好学生”称号；
- 2014-2017年，高能所研究生季度考核，考评结果（8/10）优秀；
- 2013年，中国科学院大学生奖学金获得者；

研究背景

✦ 江门中微子实验 (JUNO)

- 首要目标: 确定中微子质量顺序和精确测量中微子振荡参数



✦ 高的能量分辨率: $3\%/\sqrt{E}$

- 75% 光电倍增管覆盖率;
 - 高的探测效率;
 - 15,000 20英寸 MCP-PMT (北方夜视) 和 5,000 20英寸打拿级光电倍增管 (日本滨松), 26,000 3英寸光电倍增管;
- 以高能所为主导自主研发的大面积新型高探测效率的MCP-PMT

科研内容

★ 硬件方面工作

- JUNO 多种候选光电倍增管性能的研究
- JUNO 20” Ham-PMT 分压器及其输出波形的研究
- JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

★ 模拟分析方面工作

- PMT输出波形过冲对JUNO中心探测器能量分辨率的影响
- 反卷积算法中滤波函数选择的方法

科研内容

★ 硬件方面工作

- JUNO 多种候选光电倍增管性能的研究
- JUNO 20” Ham-PMT 分压器及其输出波形的研究
- JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

★ 模拟分析方面工作

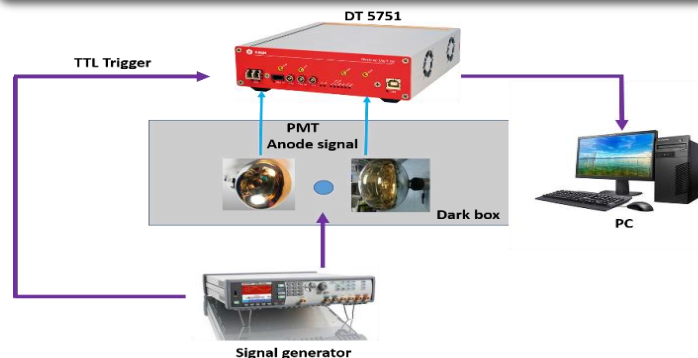
- PMT输出波形对JUNO中心探测器能量分辨率的影响
- 反卷积算法中滤波函数选择的方法

候选PMT性能研究—FADC测试系统

★ 5种JUNO候选大尺寸PMT关键性能参数的研究

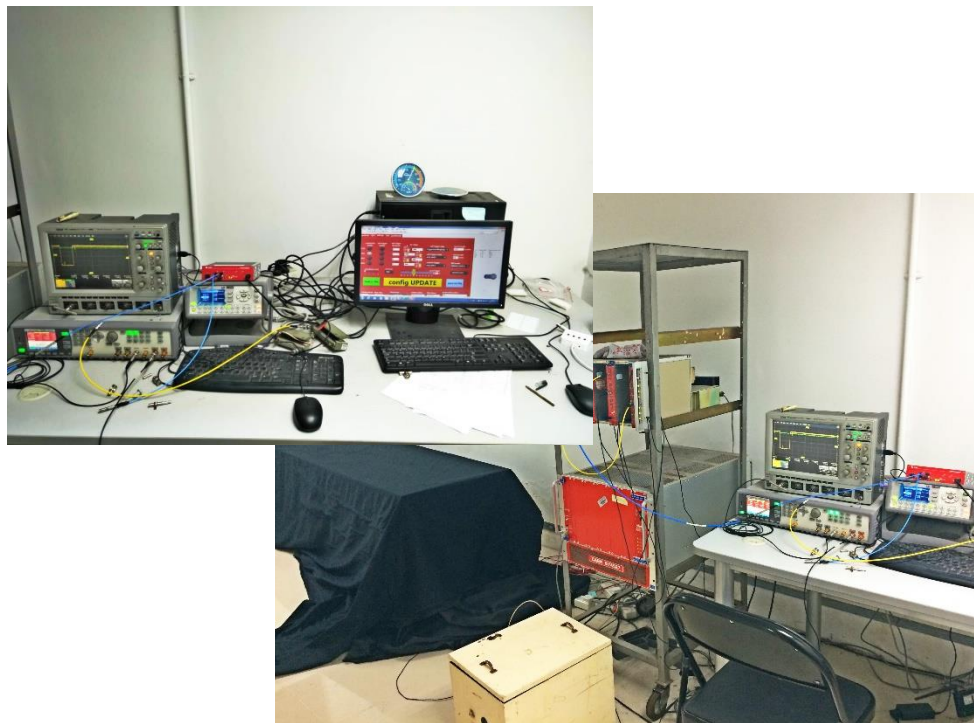
★ 独立自主搭建实验测试系统及编写实验室波形数据分析程序

波形采样系统（Flash ADC/示波器）



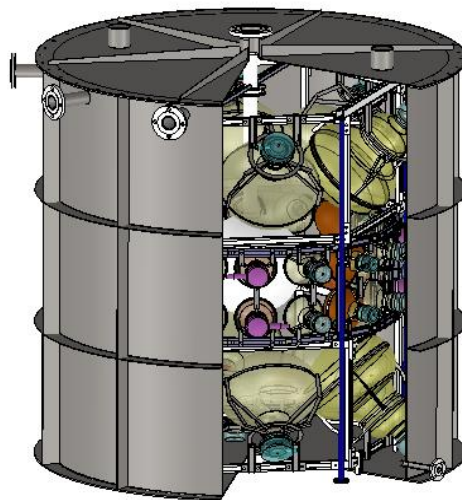
- 单光电子谱
- 增益
- 峰谷比
- 能量分辨率
- 暗噪声
- 线性
- 上升时间和下降时间
- 渡越时间涨落

- 量子效率



候选PMT性能研究—模型探测器

- 比较5种候选PMT的性能参数；
- 独立完成模型探测器51只光电倍增管性能参数测试分析及分压器的设计、元器件采购、生产、测试的整个过程；



Candidate PMTs	Numbers
20" Ham-PMT R12860	4
8" Ham-PMT R5912	10
20" MCP-PMT	8
8" MCP-PMT	19
9" HZX-PMT XP1805	10
Total	51

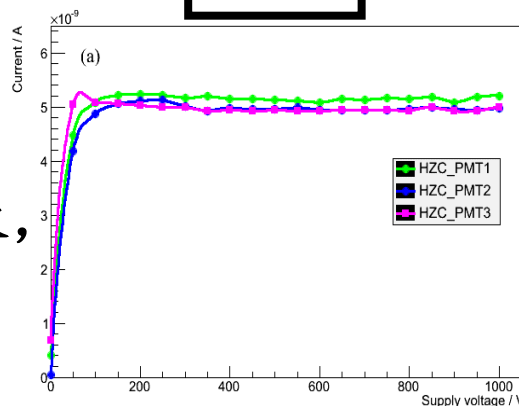
意义：

- 对模型实验PMT的测试结果和方法，为JUNO PMT参数的确定及PMT的选择提供参考；
- 测量得到的光电倍增管的实际参数作为探测器模拟的第一批参数的输入。

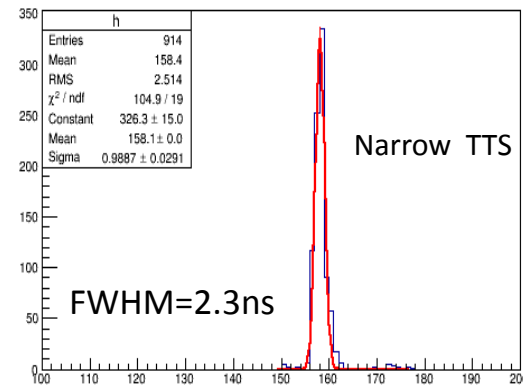
候选PMT性能研究— 9” HZC PMT

- 海南展创引进法国PHOTONIS
生产线在国内生产的第一批
9” PMT XP1805;
- 大面积, 小TTS, 动态范围大,
低暗计数率;
- 第一作者发表文章, NIMA;

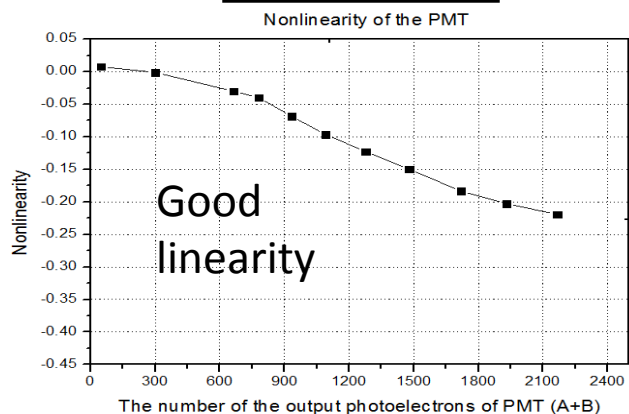
QE



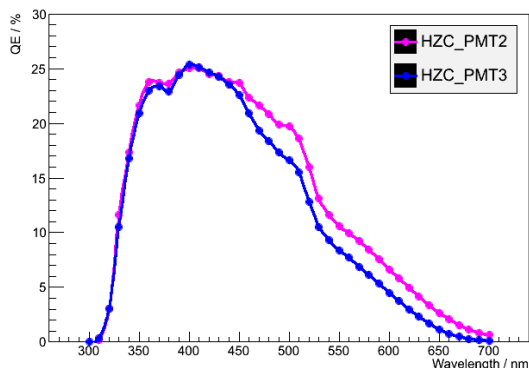
TTS



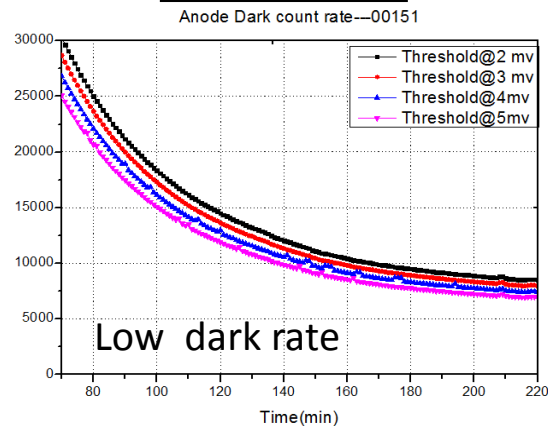
Linearity



Spectrum response



Dark rate



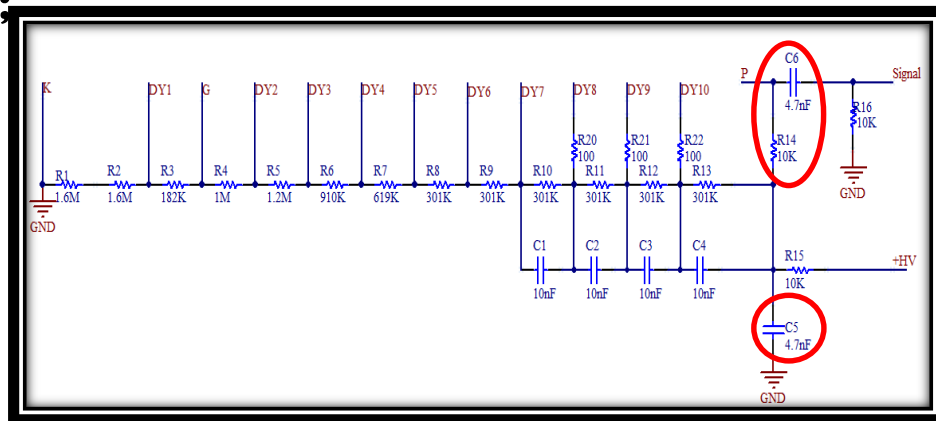
JUNO 20” Ham-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 低功耗

- 分压器电流从300uA降低到100uA；
- 被JUNO采用；

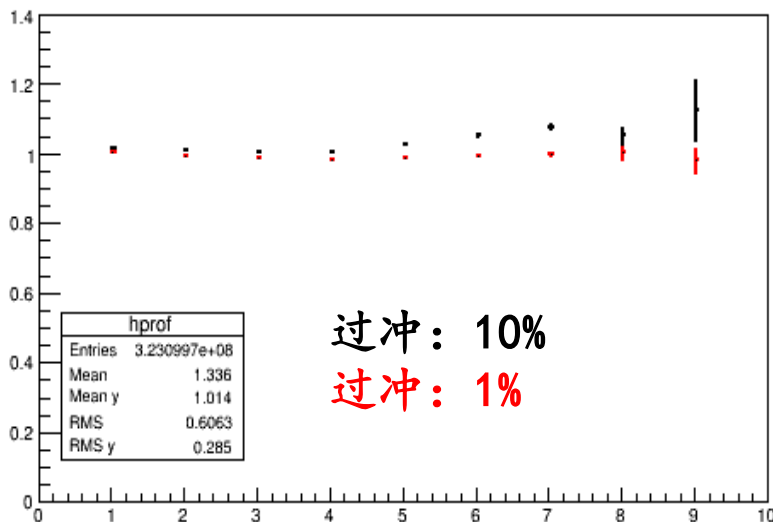
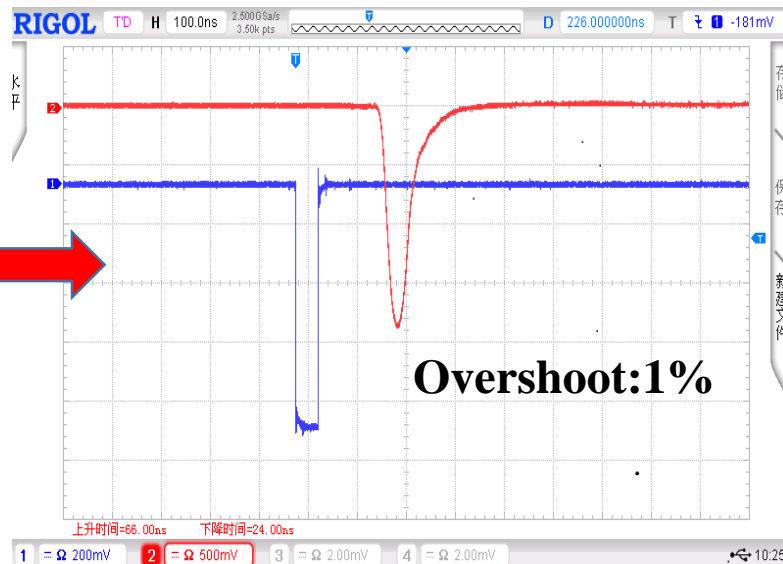
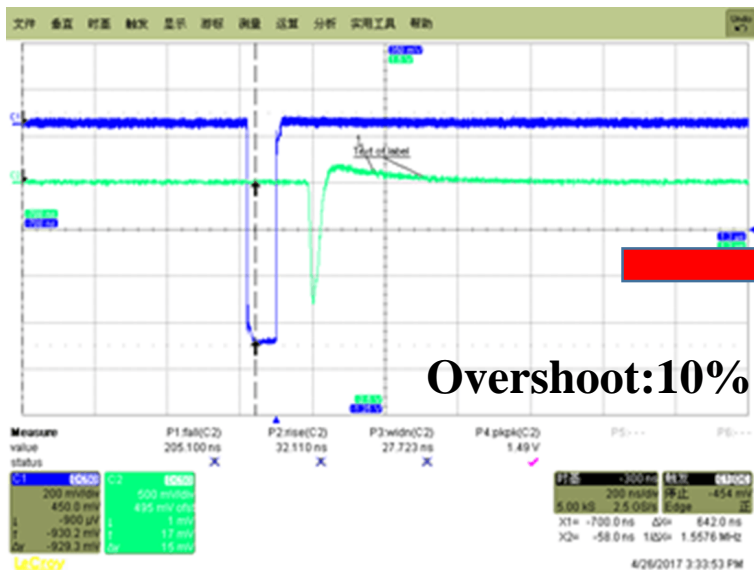
✦ PMT输出波形的过冲

- 过冲影响电荷测量、触发效率；
- 大过冲问题：设计特定触发系统和数据获取系统、死时间监测系统
等（如SNO、Borexino、KamLAND、Daya Bay等实验）；
- 成功将过冲从10%降到1%；
- 该研究成果以第一作者
已在CPC上发表文章；



JUNO 20” Ham-PMT分压器及其输出波形的研究

★ 减小PMT输出过冲对JUNO探测器的物理意义



模拟结果:

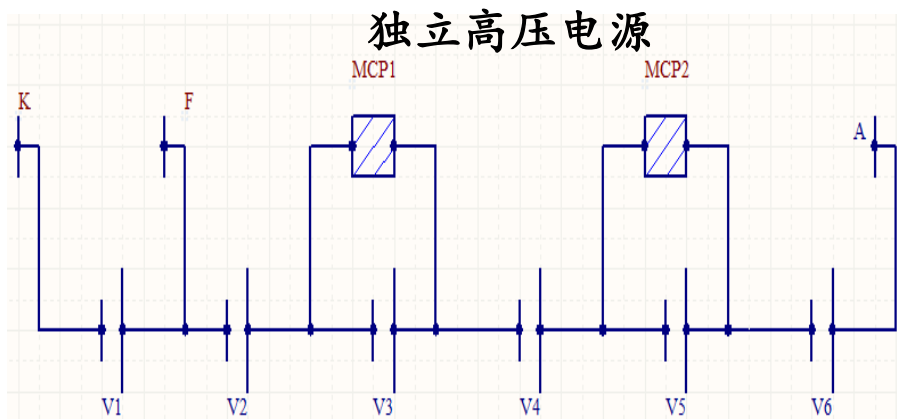
★ 波形: 10%和1%的过冲, 进行探测器模拟重建;

★ 过冲越小, 探测器电荷重建的非线性和能量分辨率更优;

JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 独立高压电源

- R&D
- 控制复杂，价格昂贵
- 不适合工程需求

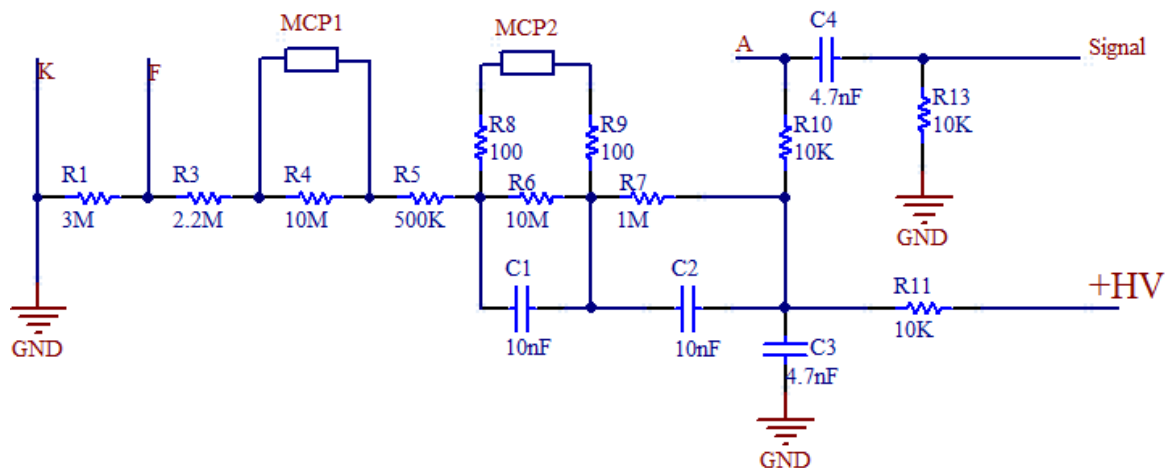


✦ 2014年9月份，首次提出MCP-PMT分

压器的初步设计方案（衡月昆，王佩良，罗凤姣），并在MCP-PMT合作组会上作报告；

✦ 正高压

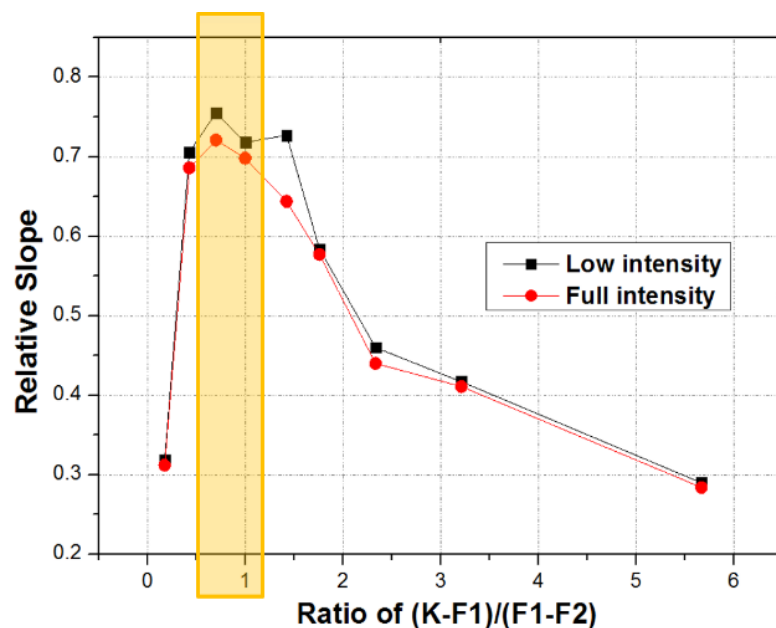
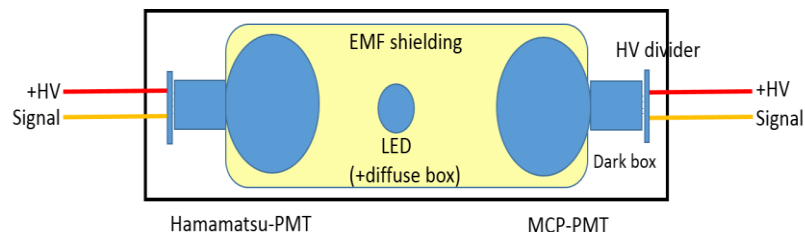
- 噪声小
- 可实现单电缆读出方式



JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 分压比的优化（提高MCP-PMT收集效率）

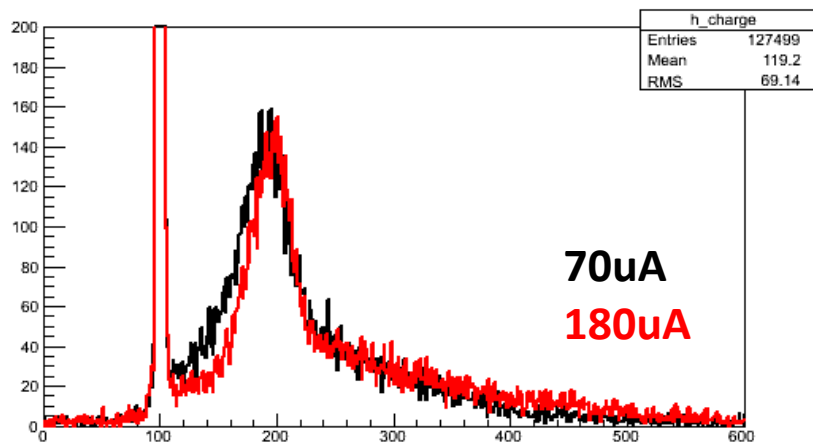
- 提出对MCP-PMT的光阴极（K）到聚焦极（F1）及第一片MCP输入电极（F2）之间电压的优化；
- 收集效率无法直接测试；
- 自主设计并搭建相对探测效率的实验测试系统，刻度并校准测试系统；
- 将K-F1:F1-F2之间的电压从原来的6.8:1.2优化到3.9:3.9（1:1），并最终被JUNO采用；
- 该成果在TIPP'17展览海报，发表会议文章；



JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 分压电流的优化（提高峰谷比、能量分辨率）

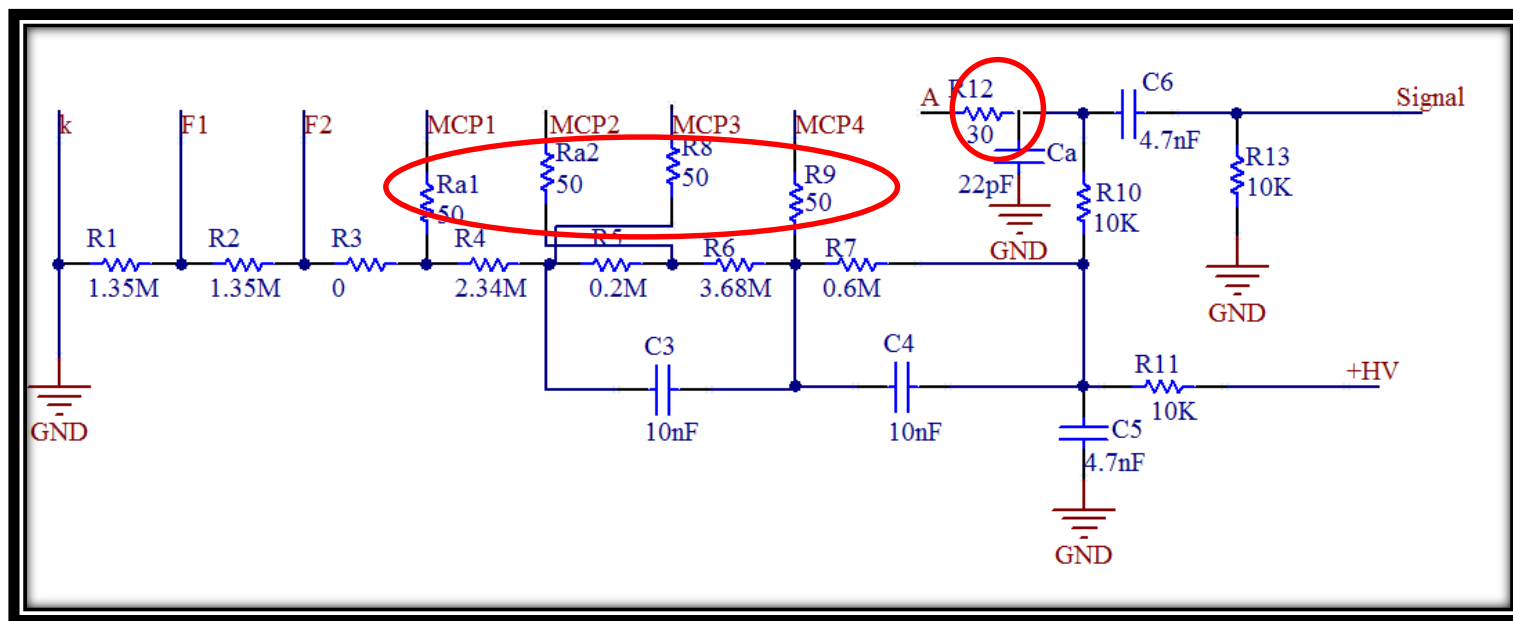
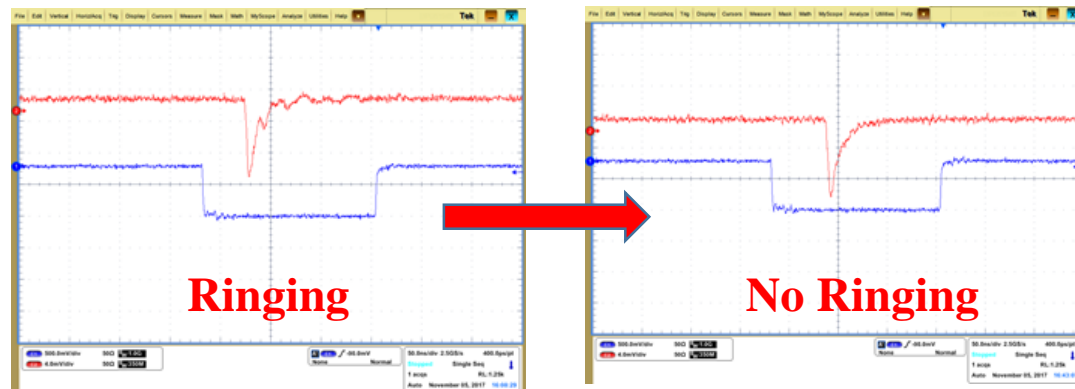
- 对MCP-PMT分压器的研究测试过程中首次发现，优化分压电流，能提高PMT的峰谷比和能量分辨率，降低相同增益下的电压；
- 考虑MCP的体电阻、高压模块可靠性，将分压电流从60uA优化到180uA，峰谷比和能量分辨率更优，达到相同增益的电压更低；
- JUNO 20” PMT测试验收现场的学生对大量MCP-PMT在2种不同分压电流下进行核验，结果与实验室测试一致；
- **最终，180uA分压电流被JUNO 15,000只MCP-PMT采用。**



JUNO 20" MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

成功改善波形形状

- 振铃 (调节Ra1、Ra2、R12、R8、R9)
- 过冲 (发表文章CPC)

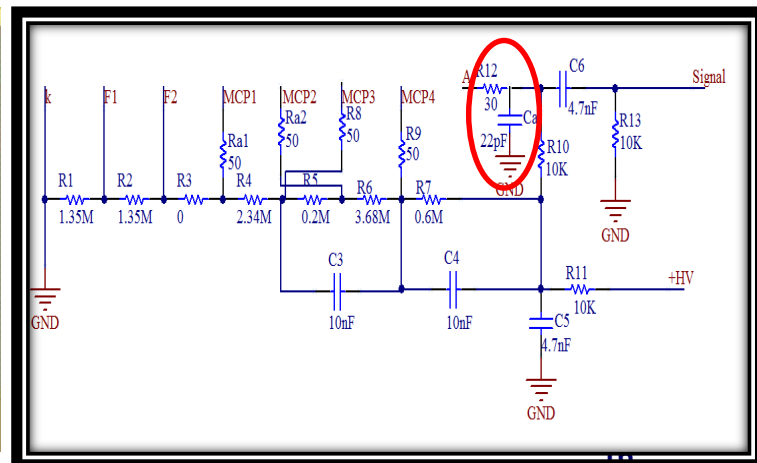
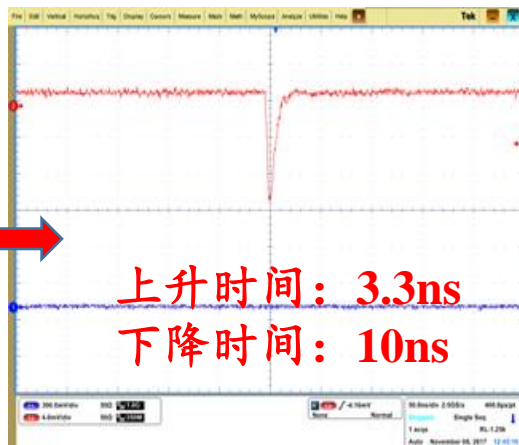
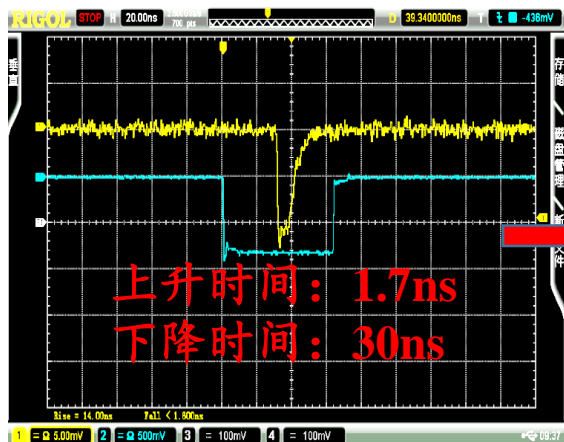


JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

★ 改善时间性能

• 上升时间

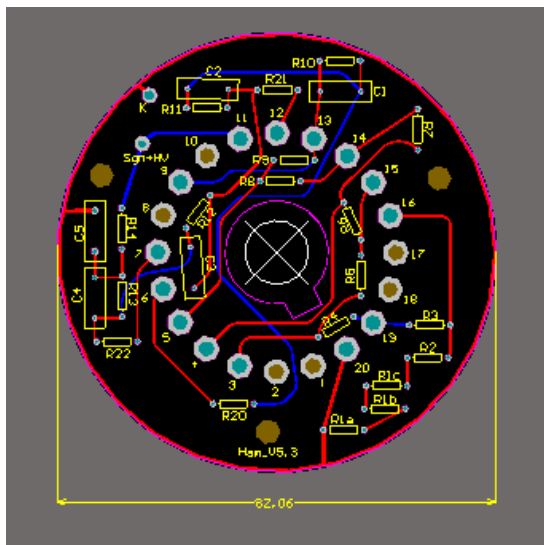
- MCP-PMT快时间响应，1.7ns左右；
- JUNO电子学：1GHz FADC对波形进行采样；
- 成功将上升时间增大到3ns，实现JUNO电子学对波形采样点的需求；
- 下降时间：下降时间太大（~30ns，滨松PMT为10ns左右），成功降到10ns左右；



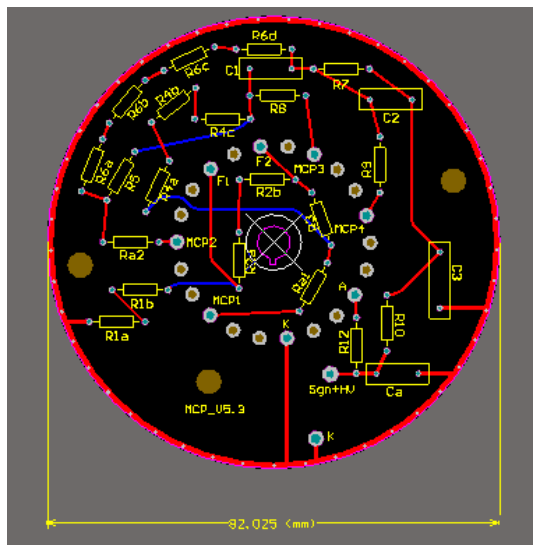
JUNO 20" MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 其他贡献

- 自主设计2种 20" PMT 分压器的PCB板；
- 根据自主设计的分压器电路和PCB板设计，已经为JUNO 20英寸PMT的验收现场提供~300套分压器；



JUNO 20" Ham-PMT



20" MCP-PMT



科研内容

✦ 硬件方面工作

- JUNO 候选光电倍增管性能的研究
- JUNO 20” Ham-PMT 分压器及其输出波形的研究
- JUNO 20” MCP-PMT分压器及其输出波形的研究

✦ 模拟分析方面工作

- **PMT输出波形过冲对JUNO中心探测器能量分辨率的影响**
- **反卷积算法中的滤波函数选择的方法**

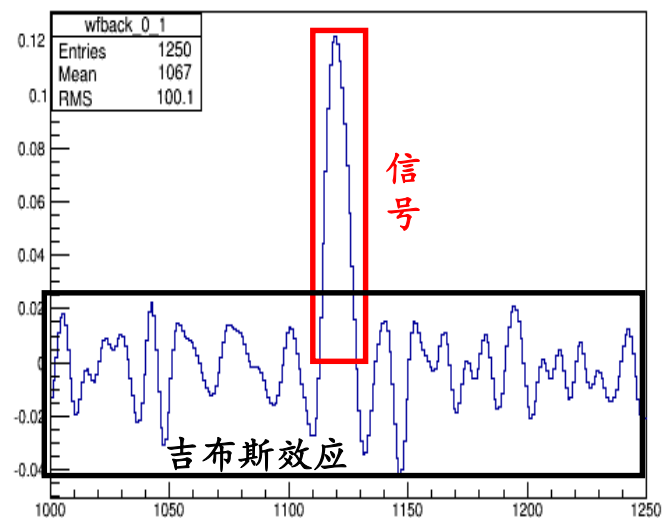
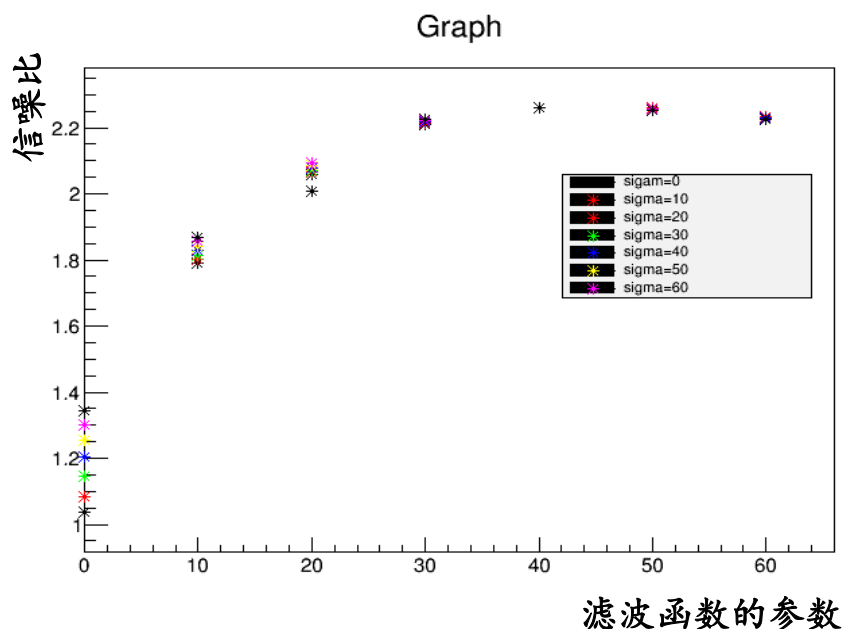
波形过冲对中心探测器能量分辨率的影响

★ PMT输出波形的过冲对能量分辨率的影响

- 首次对JUNO PMT输出的真实波形进行模拟分析，进行电荷重建；

★ 反卷积算法的研究

- 反卷积算法（于泽源）；
- 提出用信噪比和吉布斯效应显著度来表征滤波函数选择的合理性方案，将滤波函数的选择的参考标准进行量化（温良剑，罗凤姣）；

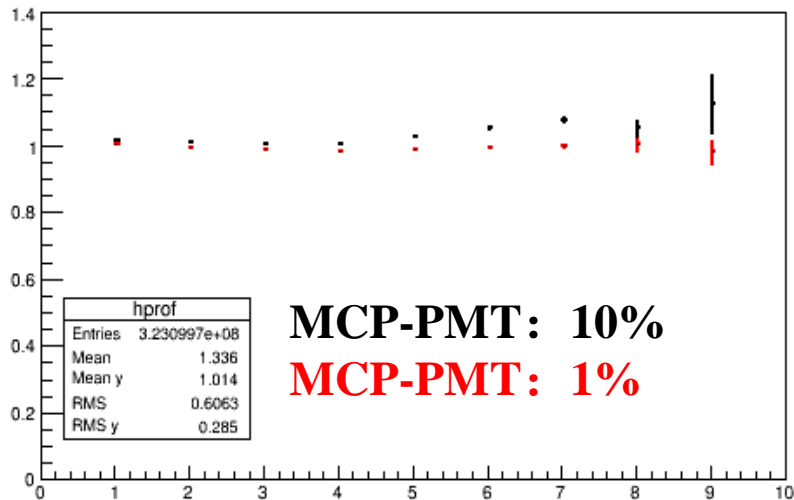
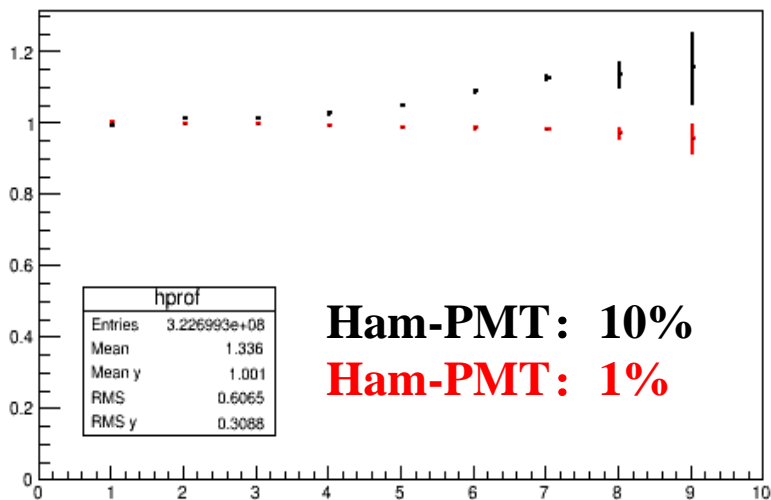


波形过冲对中心探测器能量分辨率的影响

★ PMT 4种（2种PMT，过冲10%和1%）真实输出波形对能量分辨率的影响

- 反卷积算法（滤波函数的选择）；
- 能量非线性、能量分辨率更优（过冲小的输出波形）；
- 根据硬件电路设计，首次得到不同过冲下的PMT输出真实波形并研究其对探测器能量非线性和能量分辨率的影响，为电路的设计提供参考。

能量重建非线性-反卷积算法



发表文章及国际会议

◆ 第一作者

- **PMT overshoot study for the JUNO prototype detector (CPC, 2016)**
- **A study of the new hemispherical 9-inch PMT (NIMA, 回复审稿人意见中)**
- **Signal Optimization with HV divider of MCP-PMT for JUNO (Springer Proceeding in Physics, 会议文章)**

◆ 主要贡献作者

- **Study of TTS for a 20-inch dynode PMT (CPC, 2017)**

◆ 合作作者

- **The 20-inch PMT system for the JUNO Experiment (RDTM, 2017)**
- **Evaluation of new large area PMT with high quantum efficiency (CPC, 2016)**
- **基于温度补偿的多通道MPPC增益稳定性及一致性研究 (核电子学与探测技术, 2015)**
- **Characterization of 3-inch Photomultiplier Tubes for the JUNO Central Detector (NIMA, under review)**

发表文章及国际会议

- ◆ 2014年至今，参加历次JUNO合作组年会，其中共做报告（6次），内容涉及江门中微子光电倍增管性能的研究、分压器设计及优化的进展报告及评审报告；
- ◆ 2014-2016年，多次参加JUNO新型微通道板光电倍增管（MCP-PMT）研发的合作组会，对研发阶段的MCP-PMT的性能及分压器的设计和优化的进展进行汇报；
- ◆ 2016-2017年，连续2年，分别赴俄罗斯和意大利参加JUNO电子学与光电倍增管的研讨会，并做会议报告；
- ◆ 2017年5月份，参加国际会议TIPP'17（北京），并做海报：Signal optimization with HV divider of MCP-PMT for JUNO；
- ◆ 2018年7月份，将参加国际会议ICHEP'18（韩国），并做海报：Study of the JUNO 20-inch PMT with high-voltage divider。

工作计划

◆ JUNO光电倍增管输出波形分析及其对物理的影响

- 继续完善PMT输出波形过冲、基线对能量分辨率的影响；
- PMT输出波形前沿定时算法对时间分辨率的影响（恒比定时、前沿拟合方法）；

◆ 中微子探测器小型化研究

- 美国COHERENT实验首次探测到中微子的相干散射过程（Science）；
- 设计、模拟并研制探测器模型；
- 特点：重核、大的反应截面、低能量阈值、本底控制、小型化；

谢谢！