



粒子物理前沿卓越创新中心

赵忠尧博士后申请

韩阳

中山大学

2021/06/05



个人简历

■ 2010/09-2014/07

吉林大学 本科 物理学

■ 2014/10-2017/07

巴黎萨克雷大学(University Paris Saclay)

硕士 基础物理-粒子物理

■ 2017/10-2020/11

巴黎大学 (University of Paris), APC/IJCLab

博士 粒子物理-中微子物理-江门中微子实验

导师: Anatael CABRERA

■ 2021/03-至今

中山大学 博士后 中微子物理

合作导师: 凌家杰 教授



研究工作及成果

- 江门中微子实验(JUNO)双量能器实验方案(模拟)
- JUNO与长基线加速器中微子实验联合分析(唯象)
- JUNO小光电倍增管电子学系统性能测试(硬件)

● 江门中微子实验(JUNO)

双量能器(Dual Calorimetry)实验方案

物理背景:

JUNO中微子质量顺序及高精度振荡参数测量等(主要物理目标)

→ 能量的精确测量(分辨率和非线性)至关重要

JUNO 20英寸大光电倍增管(即LPMT):

- 1.) 极大的电荷测量范围(波形重建)
- 2.) 电荷测量的中的非线性效应与探测器其他能量响应效应混合

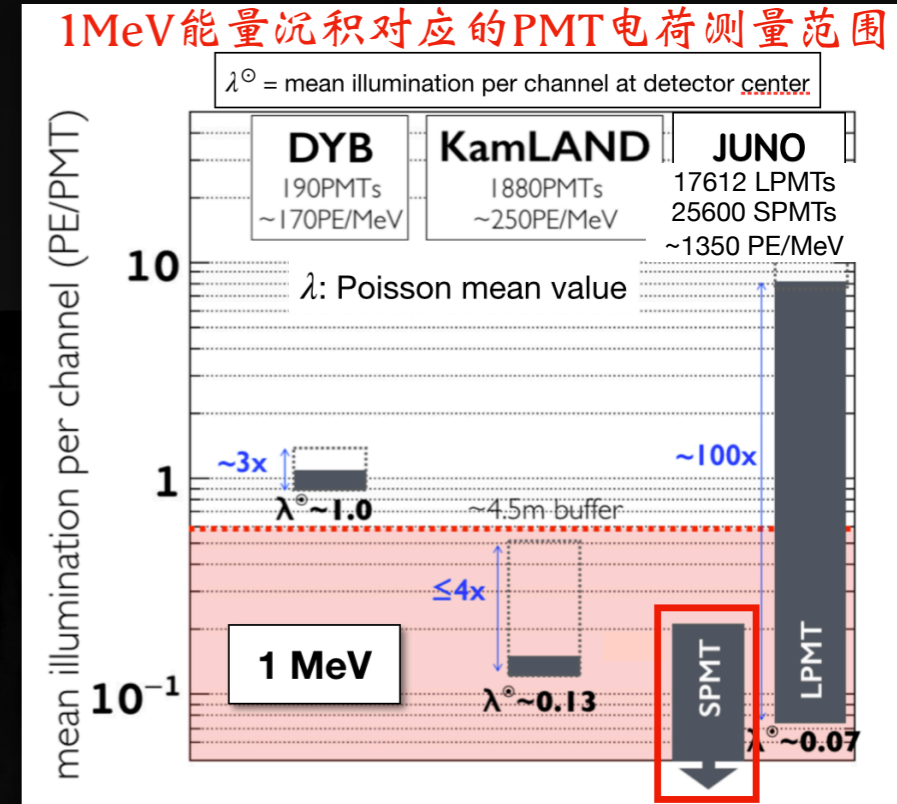
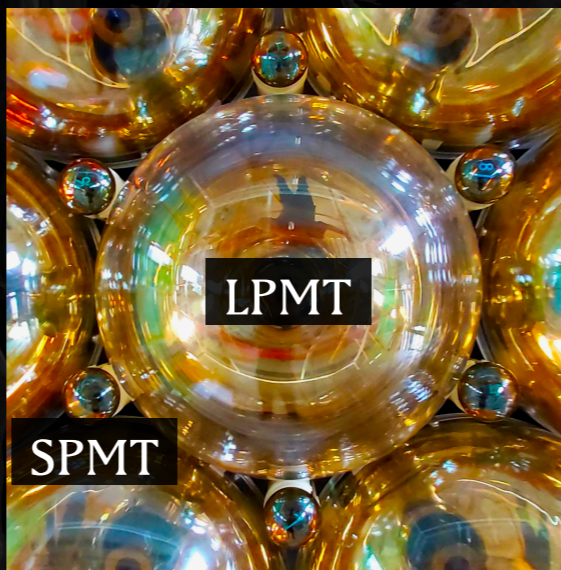
→ 控制LPMT电荷测量的非线性(QNL)至关重要

Dual Calorimetry概念:

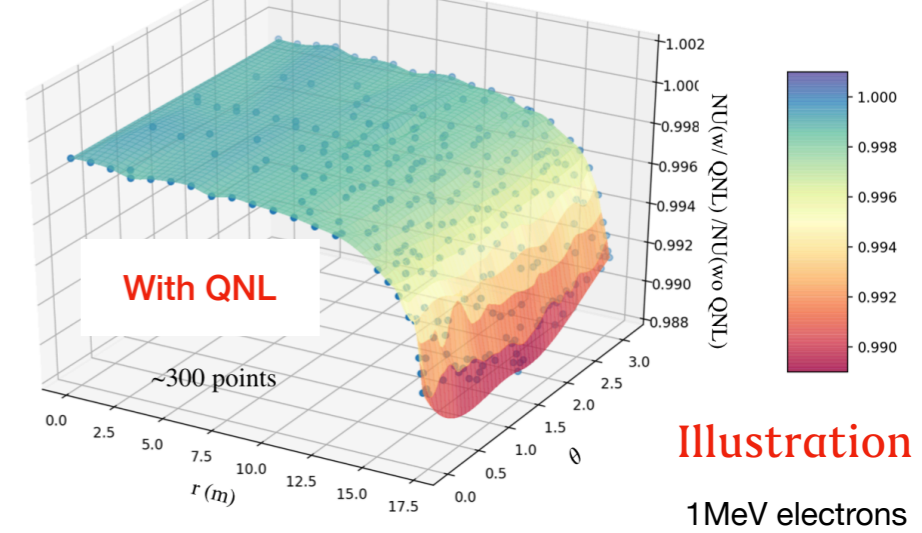
引入3英寸小PMT(即SPMT), 电荷测量以计数的方式("0"或"1")

→ 没有非线性问题, 没有与其他效应混合的问题

→ 为LPMT系统提供电荷测量的线性参考
提高JUNO探测器能量的精确测量



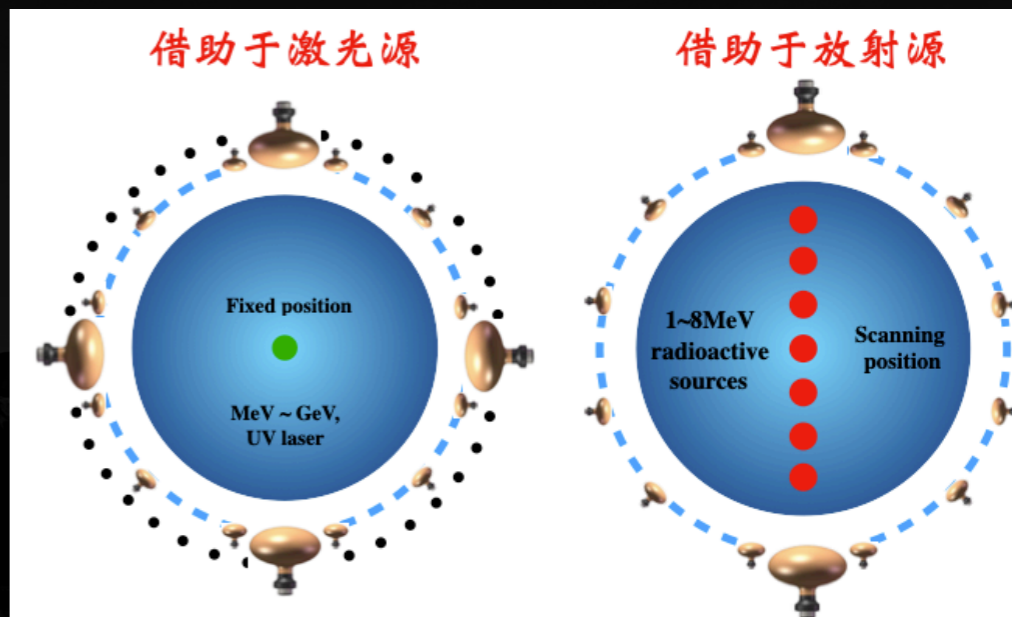
QNL与探测器位置相关的能量响应的混合



Dual Calorimetry 概念 → 实验方案

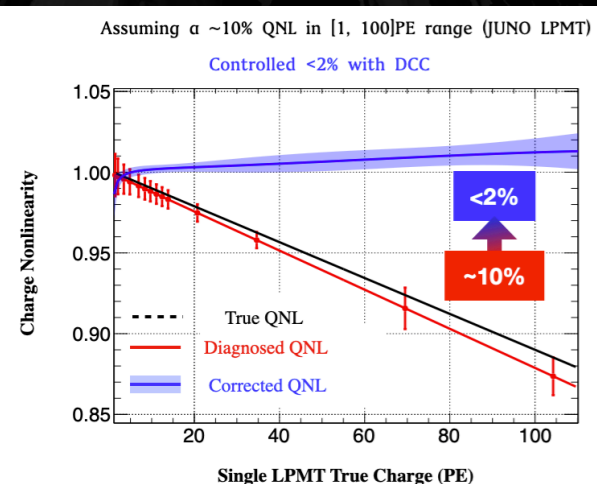
二者互补，形成一个完整的实验方案

- 提出新方法：直接从电荷和单个LPMT角度出发的 Dual Calorimetry 方案
Dual Calorimetry Calibration (DCC)
(以前从能量角度出发的 Dual Calorimetry → 挑战/困难)
用整个SPMT系统单独刻度并修正每一个LPMT通道潜在的非线性

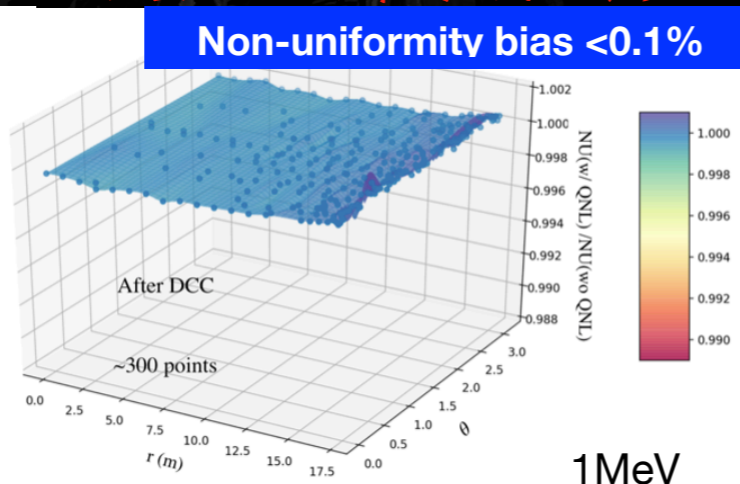


- 模拟 → 验证实验方案可行 → 量化DCC潜在的表现，分析系统性因素

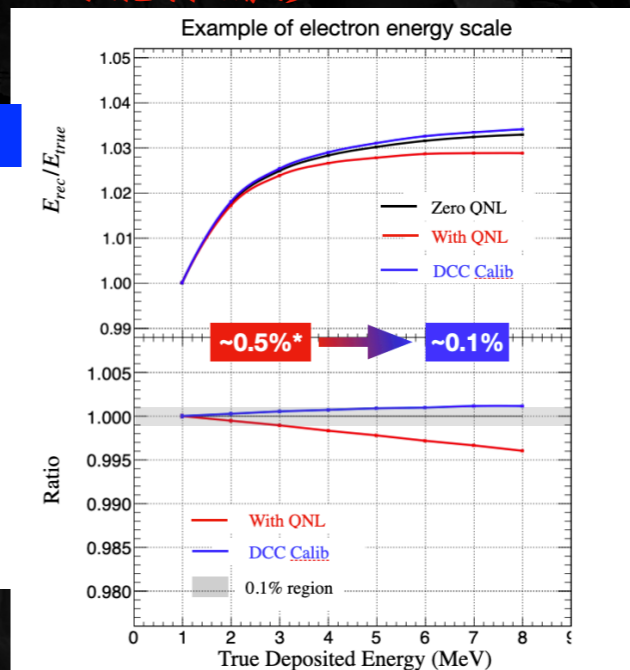
1. DCC修正单个LPMT通道QNL



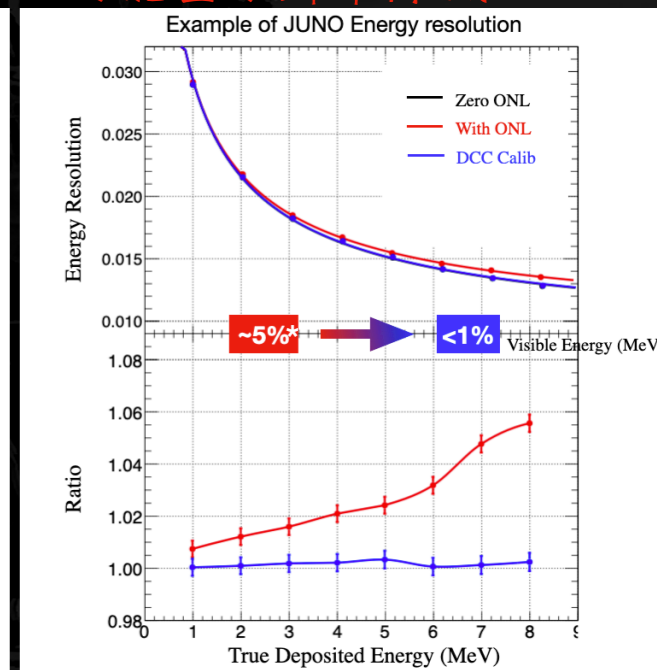
2. DCC修正由QNL引起的能量响应的非均匀性偏移



3. DCC修正由QNL引起的能标偏移



4. DCC修正由QNL引起的能量分辨率降低



*设想的QNL效应

● JUNO双量能器总结

- 独立开发、设计并验证(模拟)全新的双量能器实验方法, 即DCC,
- DCC对JUNO的LPMT电荷测量的非线性控制可有数倍的提升
- DCC有效提高JUNO对能量测量(能标和分辨率)的精确度
- DCC方法本身的系统性因素得到充分了解和掌控:
 - 柏松分布
 - PMT 电荷分辨率
 - Threshold 效应
 - SPMT QNL 控制
 -

JUNO合作组文章
(JHEP03(2021)004)

博士论文

Calibration strategy of the JUNO experiment



The JUNO collaboration

E-mail: Juno_pub_comm@juno.ihep.ac.cn

ABSTRACT: We present the calibration strategy for the 20kton liquid scintillator central detector of the Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO). By utilizing a comprehensive multiple-source and multiple-positional calibration program, in combination with a novel dual calorimetry technique exploiting two independent photosensors and readout systems, we demonstrate that the JUNO central detector can achieve a better than 1% energy linearity and a 3% effective energy resolution, required by the neutrino mass ordering determination.

KEYWORDS: Neutrino Detectors and Telescopes (experiments)

ARXIV EPRINT: [2011.06405](https://arxiv.org/abs/2011.06405)

JHEP03(2021)004



Université de Paris
École Doctorale 560 STEP'UP
Laboratoire AstroParticule et Cosmologie

Dual Calorimetry for High Precision Neutrino Oscillation Measurement at JUNO Experiment

Par Yang HAN
Thèse de doctorat de Physique de l'Univers

● JUNO与长基线加速器中微子实验联合分析

物理背景:

JUNO中微子质量顺序(MO)的灵敏度 $\sim 3\sigma$ (6年)

2020全局分析: 正序(normal MO)接近 3σ

考虑:

$\geq 5\sigma$ MO的测量, 何时?

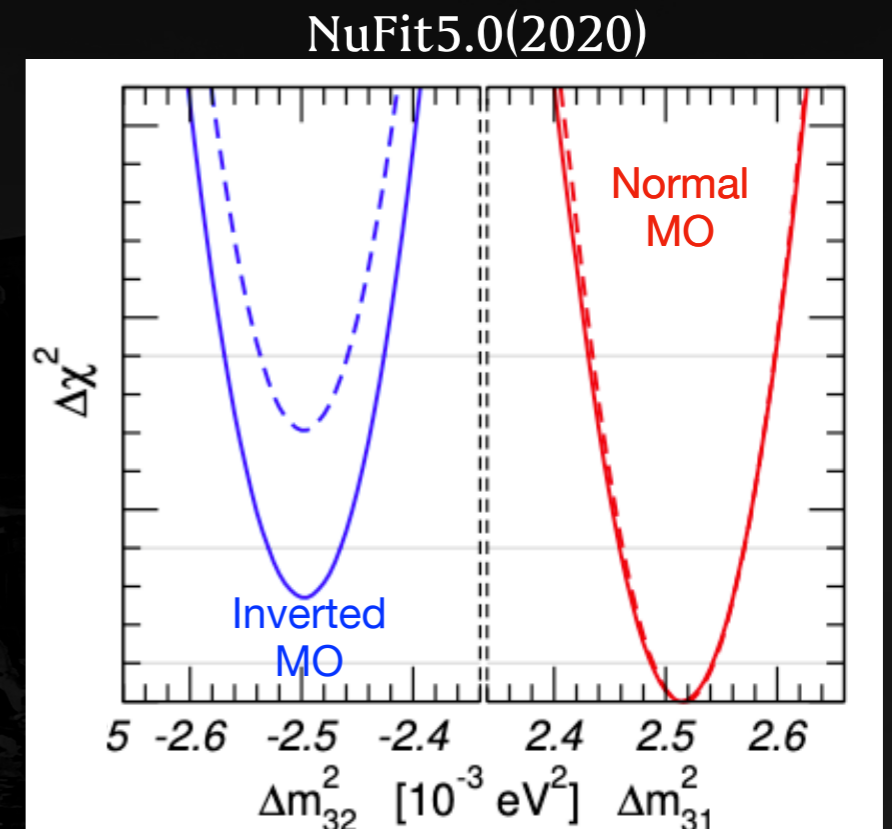
“真空”的 $\geq 5\sigma$ MO的测量(互补于“物质效应” e.g. DUNE)?

联合分析:

JUNO: 即将建成(2022)

T2K和NOvA: 运行的长基线加速器中微子实验(LBL)

1.) JUNO、T2K和NOvA各自MO灵敏度 2.) JUNO和T2K&NOvA之间存在的MO协同增益效应



● JUNO, T2K和NOvA的MO联合分析

- JUNO(6年), T2K(2026)和NOvA(2024)完全联合的MO灵敏度

→ $\geq 5\sigma$ MO灵敏度, $\sim 2028^*$

(对于所有可能的 δ_{CP} , 对于正序和反序)

*大气中微子实验会加速测量

- JUNO和T2K&NOvA的MO协同增益效应

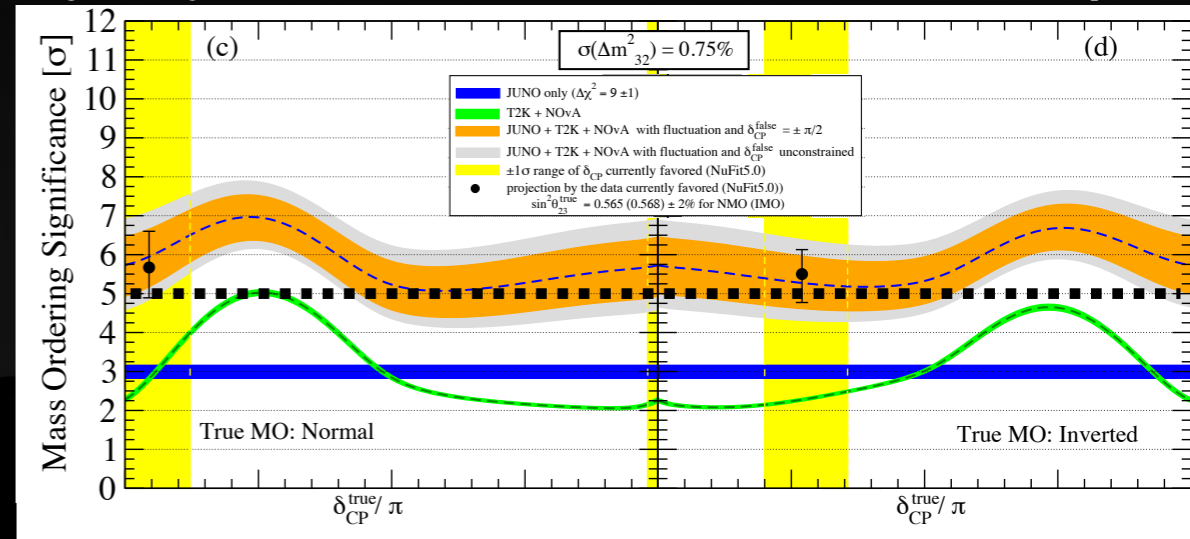
- 1.) 本质 Δm_{32}^2 false MO, Δm_{32}^2 false MO
- 2.) 增益效应中不同实验间的统计涨落
- 3.) 增益效应 δ_{CP} 的依赖性

- JUNO+MO协同增益(T2K&NOvA, DUNE/HK)

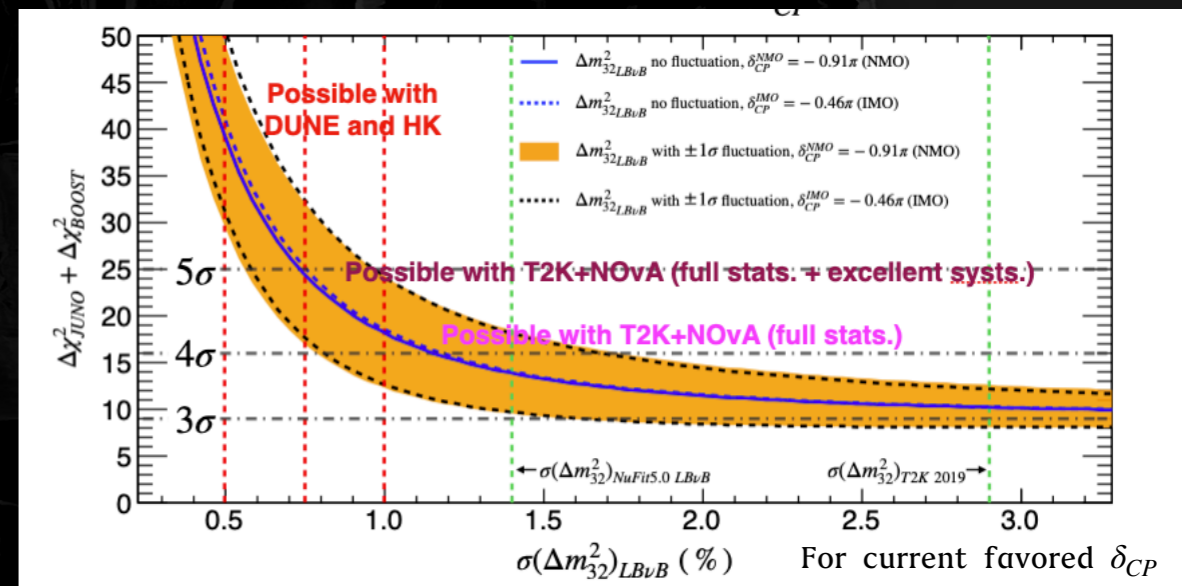
→“真空” $\geq 5\sigma$ MO测量($\sim 50\%$, $>90\%$)

→互补于并验证“物质效应” $\geq 5\sigma$ MO测量(e.g. DUNE)

●JUNO(6years), T2K(2026)和NOvA(2024) full combination (expected)



JUNO+MO协同增益效应(真空)



arXiv:2008.11280 [hep-ph] under publication

Earliest Resolution to the Neutrino Mass Ordering?

Anatael Cabrera^{*1,2,4}, Yang Han^{†1,2}, Michel Obolensky¹, Fabien Cavalier², João Coelho², Diana Navas-Nicolás², Hiroshi Nunokawa^{†2,7}, Laurent Simard², Jianming Bian³, Nitish Nayak³, Juan Pedro Ochoa-Ricoux³, Bedřich Roskovec³, Pietro Chimenti⁵, Stefano Dusini^{6a}, Marco Grassi^{6b}, Mathieu Bongrand^{8,2}, Rebin Karaparambil⁸, Victor Lebrin⁸, Benoit Viaud⁸, Frederic Yermia⁸, Lily Asquith⁹, Thiago J. C. Bezerra⁹, Jeff Hartnell⁹, Pierre Lasorak⁹, Jiajie Ling¹⁰, Jiajun Liao¹⁰, and Hongzhao Yu¹⁰

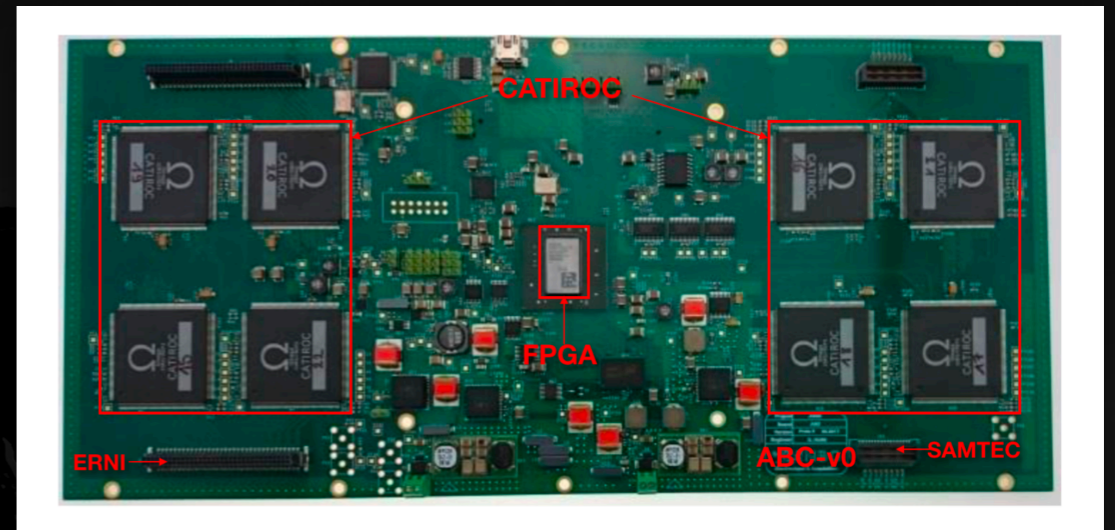
● JUNO小光电倍增管电子学系统性能测试

背景:

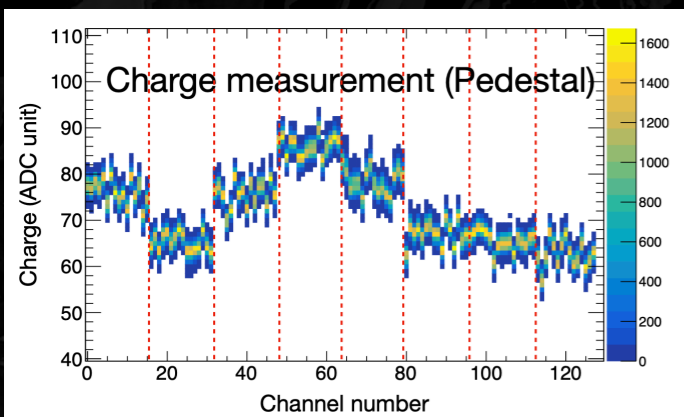
小光电倍增管(SPMT)电子学系统的性能表现对于DCC方法至关重要

- 电子学板功能性测试、性能表现测试
- 通过数据分析, 反馈给工程师, 帮助硬件、固件及软件上的改进
- 电子学模拟研究threshold效应和修正方法
- SPMT模型探测器JINO概念设计

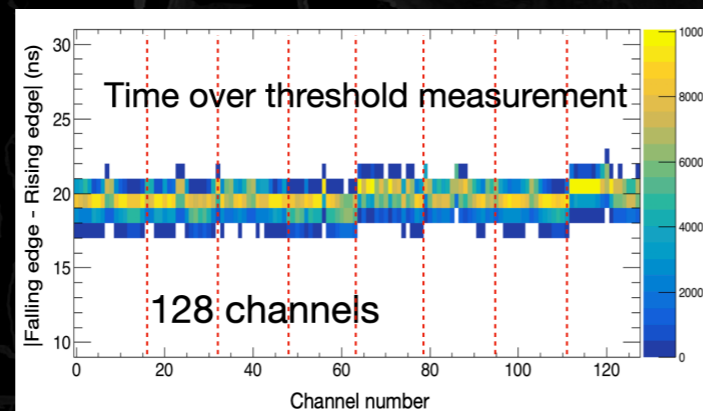
ABC board (SPMT readout electronics)



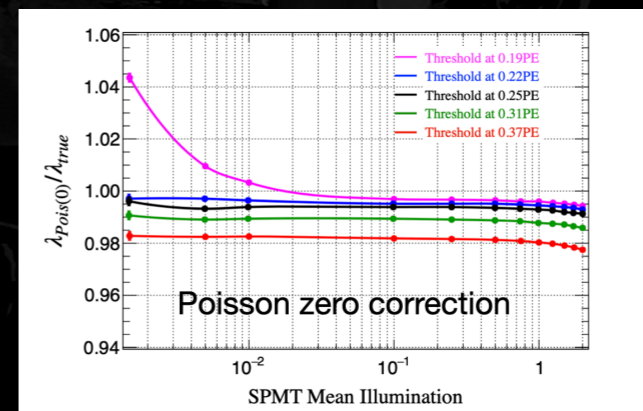
Charge data stream



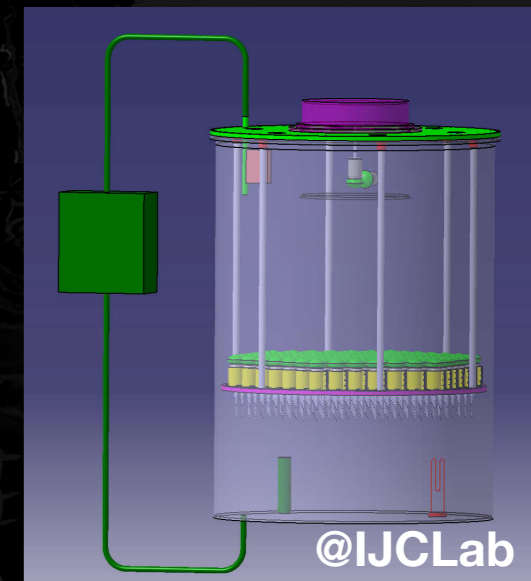
Discriminator data stream



Threshold effect



JINO



SPMT电子学系统的性能结合刻度修正方法(threshold效应)可以确保DCC方法的在JUNO中实施



未来工作计划

▲ 江门中微子实验

- 中微子质量顺序和高精度振荡参数测量, 物理灵敏度分析, 以及取数后基于实验数据的分析
- 提高探测器能量响应的精确控制 (事例重建, 能量刻度, 能量分辨率和非线性等)
- 推进双量能器方法在JUNO中运用和改进

▲ 大亚湾实验

- 基于大亚湾最新实验数据, 精确分析提取中微子振荡参数 θ_{13} 和 Δm_{32}^2

▲ 中微子实验联合分析

- 中微子质量顺序全局分析, 包括: 江门实验、长基线加速器中微子实验、大气中微子实验
- 基于江门实验和大亚湾实验精确测量的中微子振荡参数, 联合其他中微子实验的测量结果, 分析中微子混合矩阵的么正性等



谢谢!

文章

- JUNO collaboration; Calibration strategy of the JUNO experiment; J. High Energ. Phys. 2021, 4 (2021)
- A. Cabrera, Y. Han, H.Nunokawa et al. Earliest Resolution to the Neutrino Mass Ordering? arXiv:2008.11280
- IceCube-Gen2 Collaboration and JUNO Collaboration Members; Combined sensitivity to the neutrino mass ordering with JUNO, the IceCube Upgrade, and PINGU; Phys. Rev. D 101, 032006 (2020)
- JUNO collaboration; Feasibility and physics potential of detecting ^8B solar neutrinos at JUNO; Chin.Phys.C 45 (2021) 2, 023004
- JUNO and Daya Bay collaborations; Optimization of the JUNO liquid scintillator composition using a Daya Bay antineutrino detector; Nucl.Instrum.Meth.A 988 (2021) 164823
- C.Y. Cao et al.; Mass production and characterization of 3-inch PMTs for the JUNO experiment; Nucl.Instrum.Meth.A 1005 (2021) 165347
- JUNO Collaboration; TAO Conceptual Design Report; arXiv:2005.08745
- A. Cabrera et al.; Neutrino Physics with an Opaque Detector; arXiv:1908.02859

报告

- Talk at TIPP2021 (Technology and Instrumentation in Particle Physics conference), 24-29 May 2021, Vancouver, Canada (Remote); “Dual Calorimetry at JUNO”;
- Talk at NuTel2021 (XIX International Workshop on Neutrino Telescopes), 18-26 February 2021, Padova, Italy, (Remote); “Dual Calorimetry at JUNO”;
- Poster at Neutrino2020 (XXIX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics), June 22-July 2, 2020, Fermilab, Chicago, USA (Remote); “Dual Calorimetry at JUNO”;
- Poster at JEANS-2019, 14 -16, October 2019, Orsay, France; “Neutrino Physics at the JUNO experiment”
- Poster at Neutrino2018 (XXVIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics), 4-9 June, 2018, Heidelberg, Germany; “Stereo Calorimetry in JUNO: Physics Motivation and Instrumentation”