



The 3-inch PMT system of JUNO experiment

黄永波 (广西大学), huangyb@gxu.edu.cn

On behalf of the JUNO collaboration

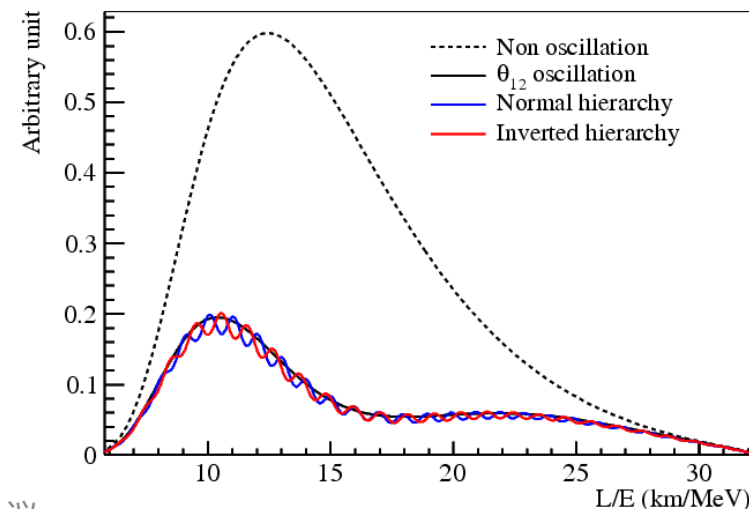
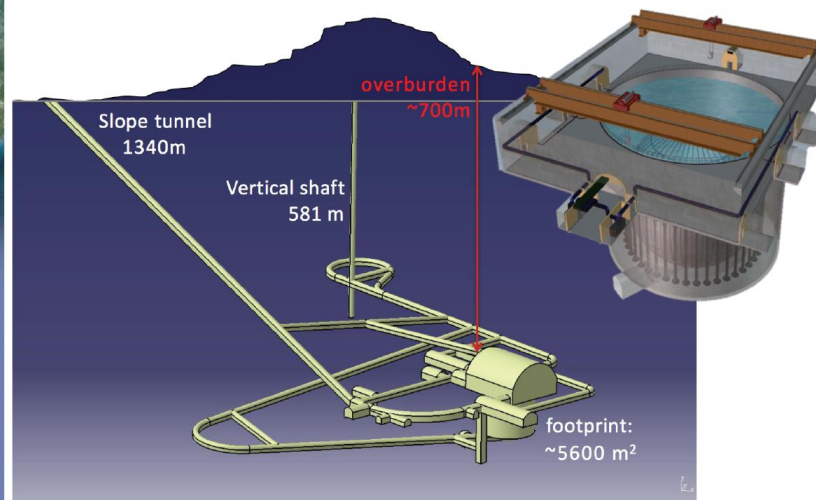
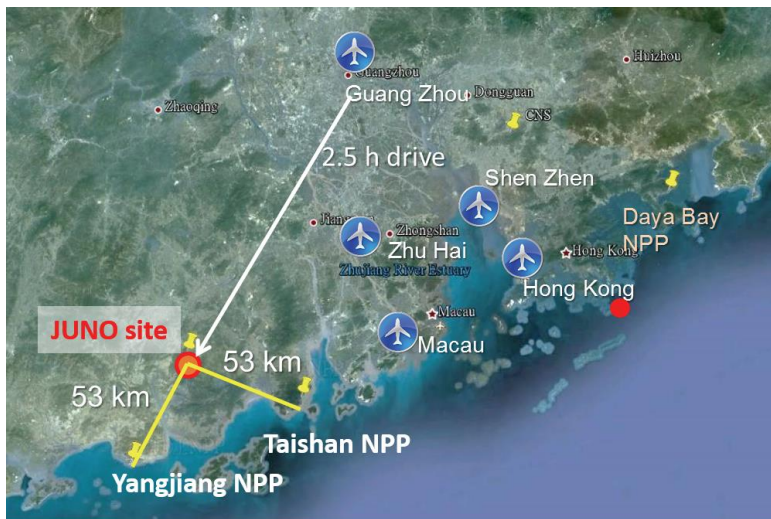
2021-8-17, 青岛 (Online meeting)

大纲

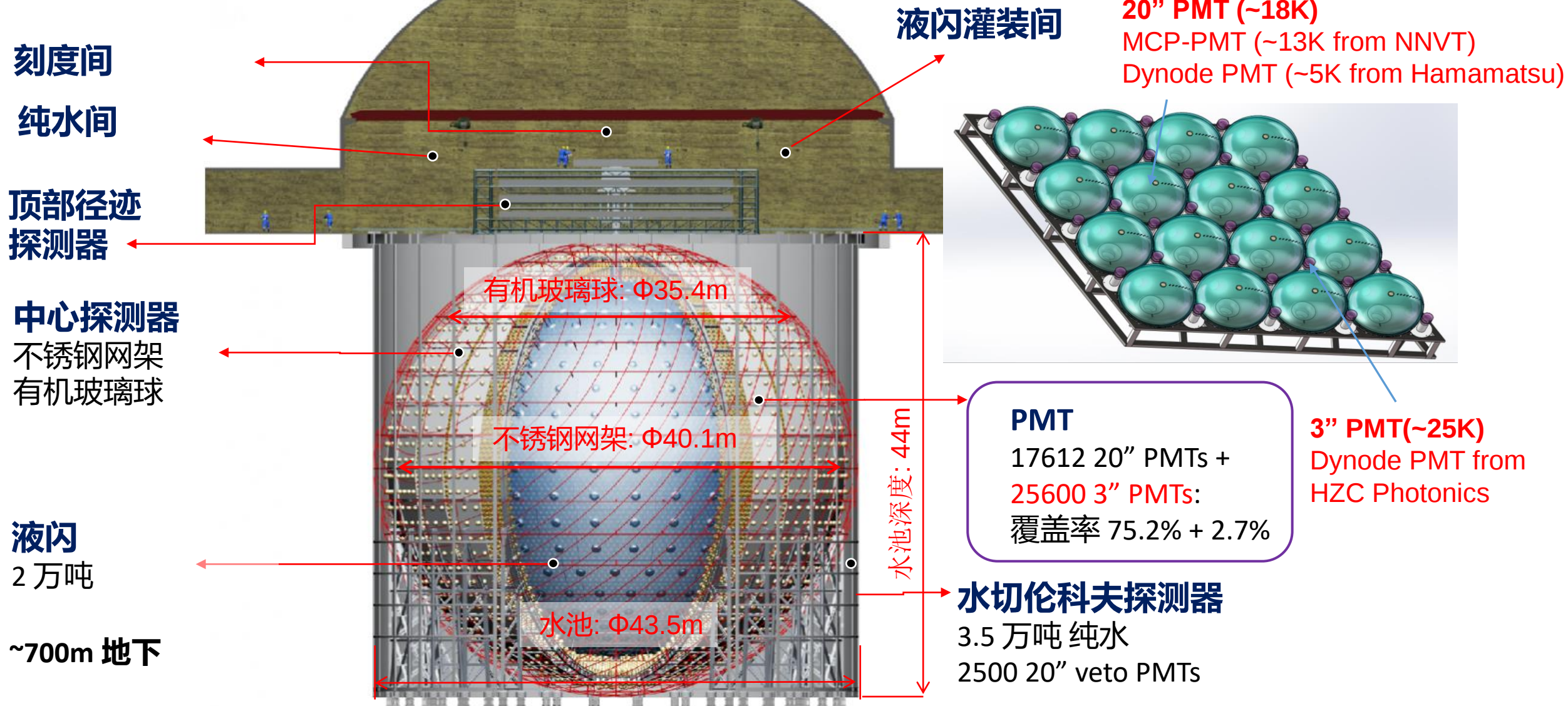
- 江门中微子实验及探测器简介
- JUNO探测性能及特点
- SPMT系统的物理潜力
- SPMT系统的组成
- SPMT系统的研究进展
- 总结展望

江门中微子实验 (JUNO)

- 位于广东省江门的大型地下中微子实验
- 丰富的物理目标：
 - 确定中微子质量顺序
 - 精确测量中微子振荡参数
 - 研究太阳、超新星、大气、地球中微子等
- 2 万吨液体闪烁体 (LS)， 能量分辨率 3% @ 1 MeV， 能量精度 1%
- 探测器要求：靶体积大，LS透明且光产额高，PMT光学覆盖率高，放射性本底低等
- JUNO探测器是目前世界上最具挑战的大型液闪探测器



JUNO 探测器



JUNO探测性能要求及特点

要求：能量分辨率 3% @ 1 MeV，能量精度 1%

$$\frac{\sigma_{E_{\text{vis}}}}{E_{\text{vis}}} = \sqrt{\left(\frac{a}{\sqrt{E_{\text{vis}}}}\right)^2 + b^2 + \left(\frac{c}{E_{\text{vis}}}\right)^2}$$

Stochastic term ~1345 p.e./MeV
(Light yield, Transparency,
Photo-coverage, QE...)

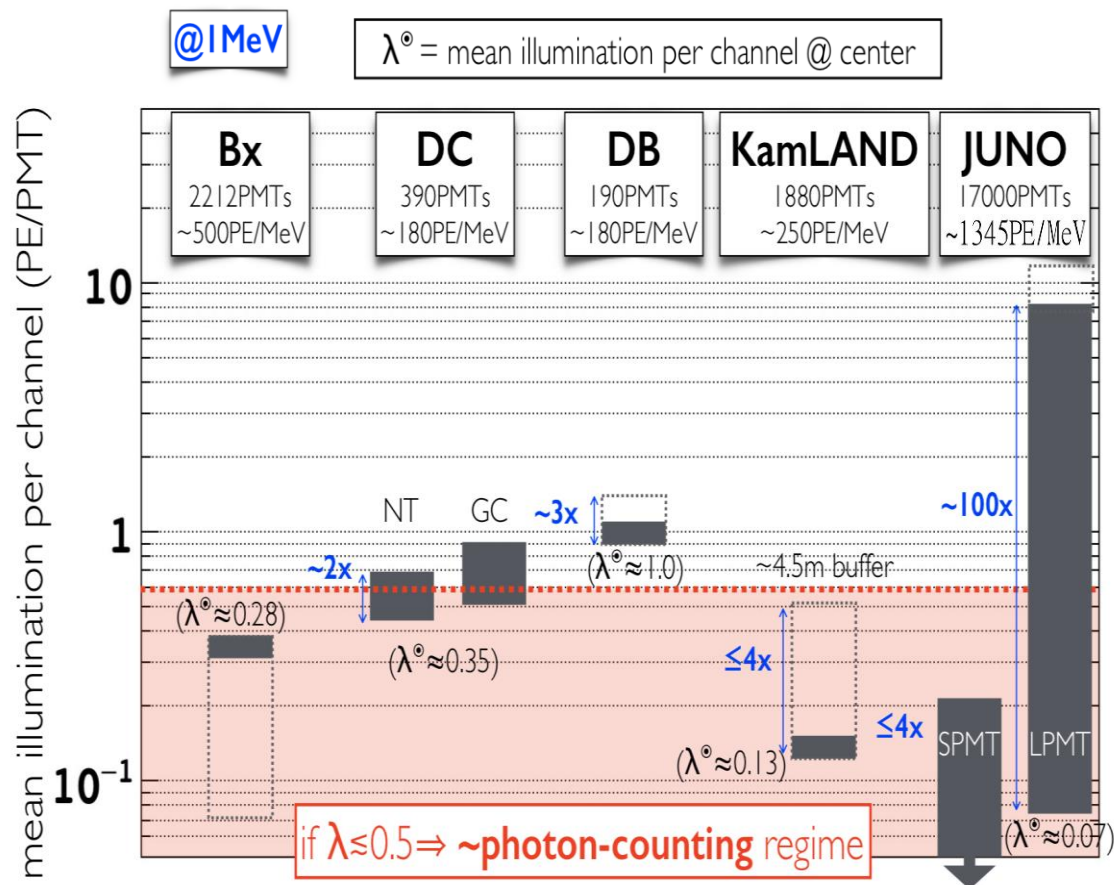
Non stochastic terms
(Non-uniformity, background
noise)

LPMT (20 inch) :

- 工作在大的动态范围
- 通过重建电荷获得能量信息
- 光子统计量大，可减小统计项

SPMT (3 inch) :

- 绝大多数情况工作在单光子计数模式
- 可直接数光子数 (1 hit = 1 p.e.)
- 控制系统误差，减小非统计项



SPMT系统的物理潜力

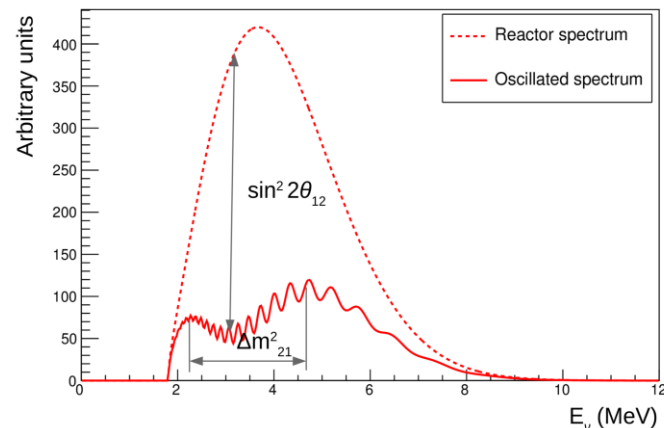
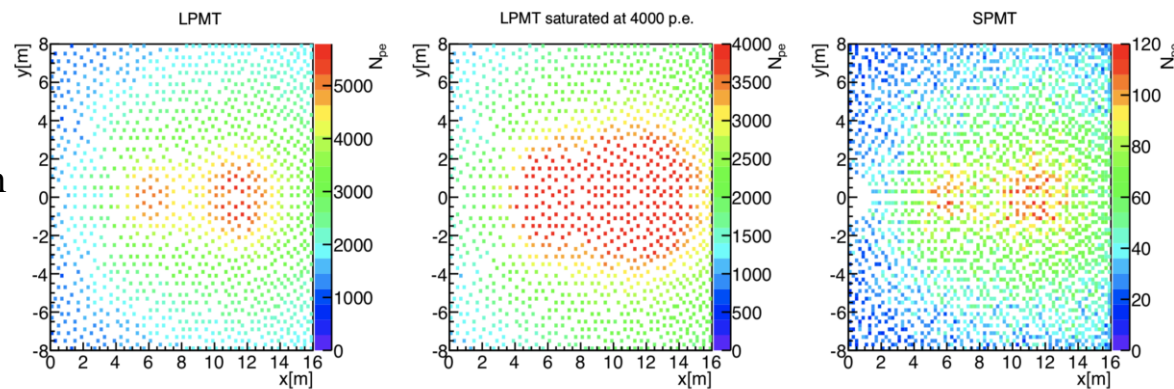
提供独立的测量，与 LPMT 系统构成双量能器系统

- 轻微提高光产额（3%）
- 精确刻度LPMT 的电荷重建非线性，控制残余非均匀性
- 提高能标精度
- 约束系统误差，减小能量分辨率非统计项

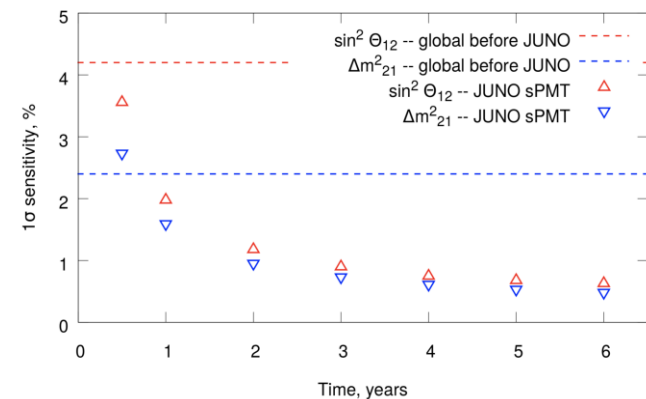
其他物理研究

- 独立的太阳中微子振荡参数测量（ θ_{12} and Δm^2_{21} ）
- 高能量物理事例的重建（大气中微子，muon）
- 超新星中微子（SPMT系统支持高事例率的触发及传输）

Example of double muon hit pattern seen by LPMTs without saturation, LPMTs saturated at 4000 p.e. and SPMTs

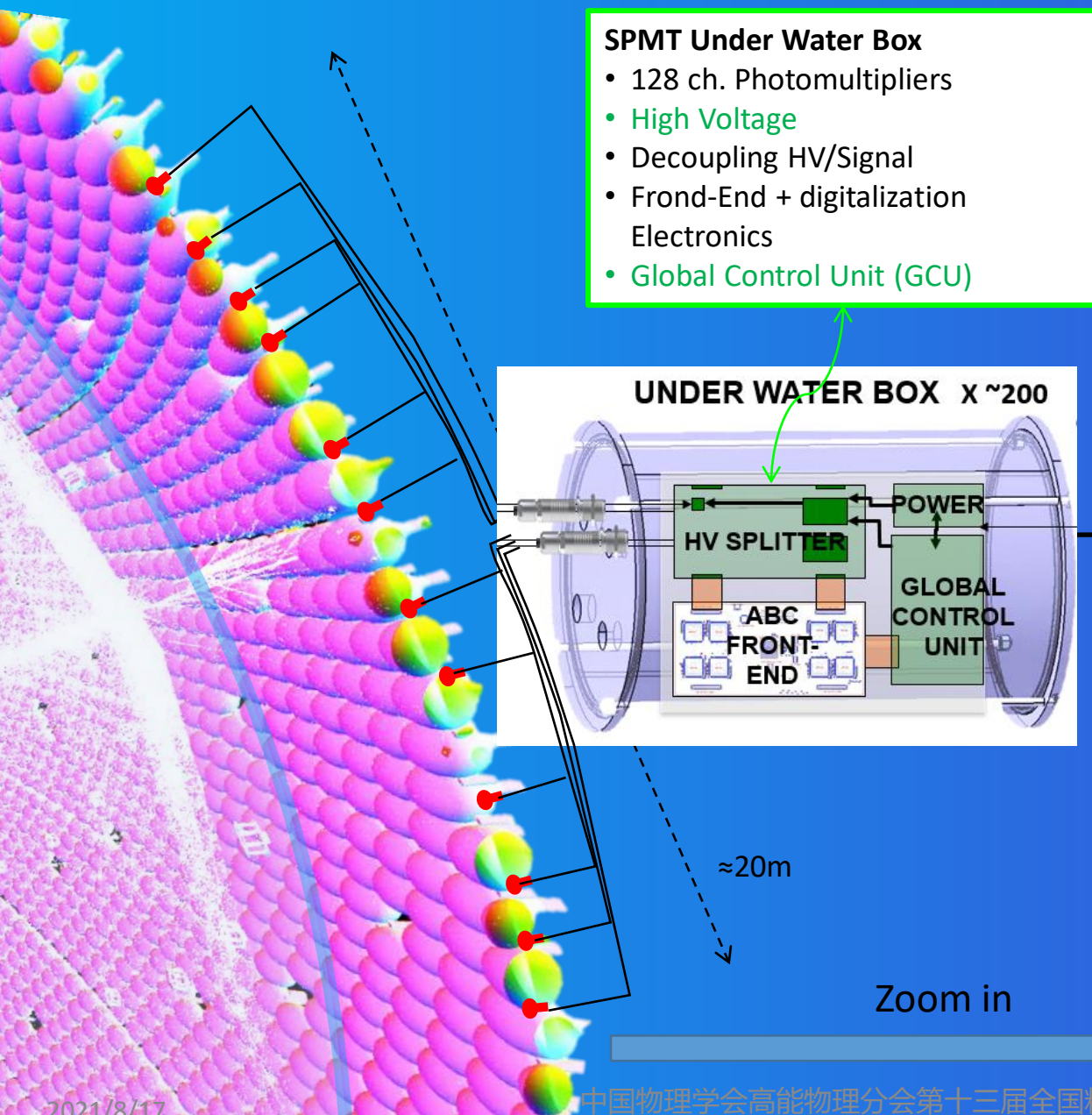


Ideal antineutrino spectrum without oscillations and with oscillations for JUNO



Sensitivity to θ_{12} and Δm^2_{21}

LPMT + SPMT 系统



MAIN DAQ

SURFACE

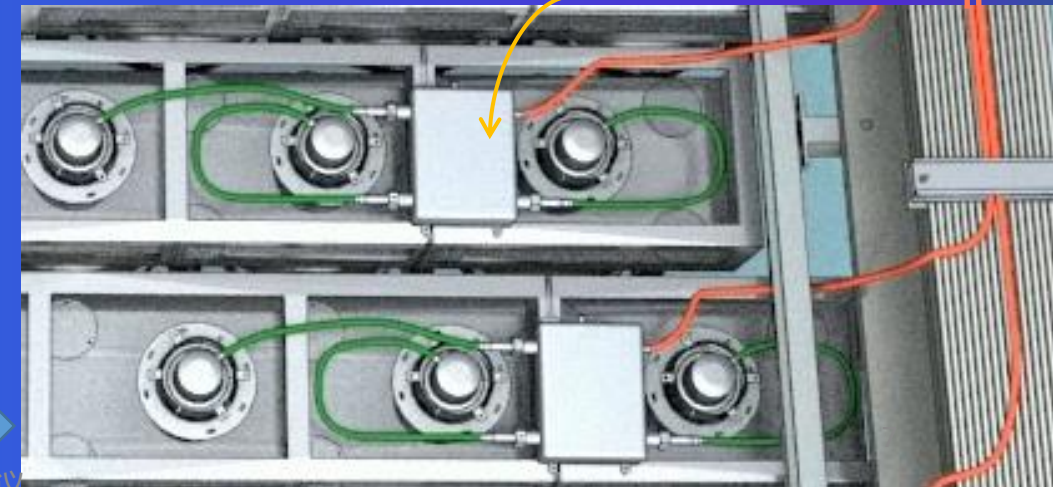
MAIN DAQ

≈100m

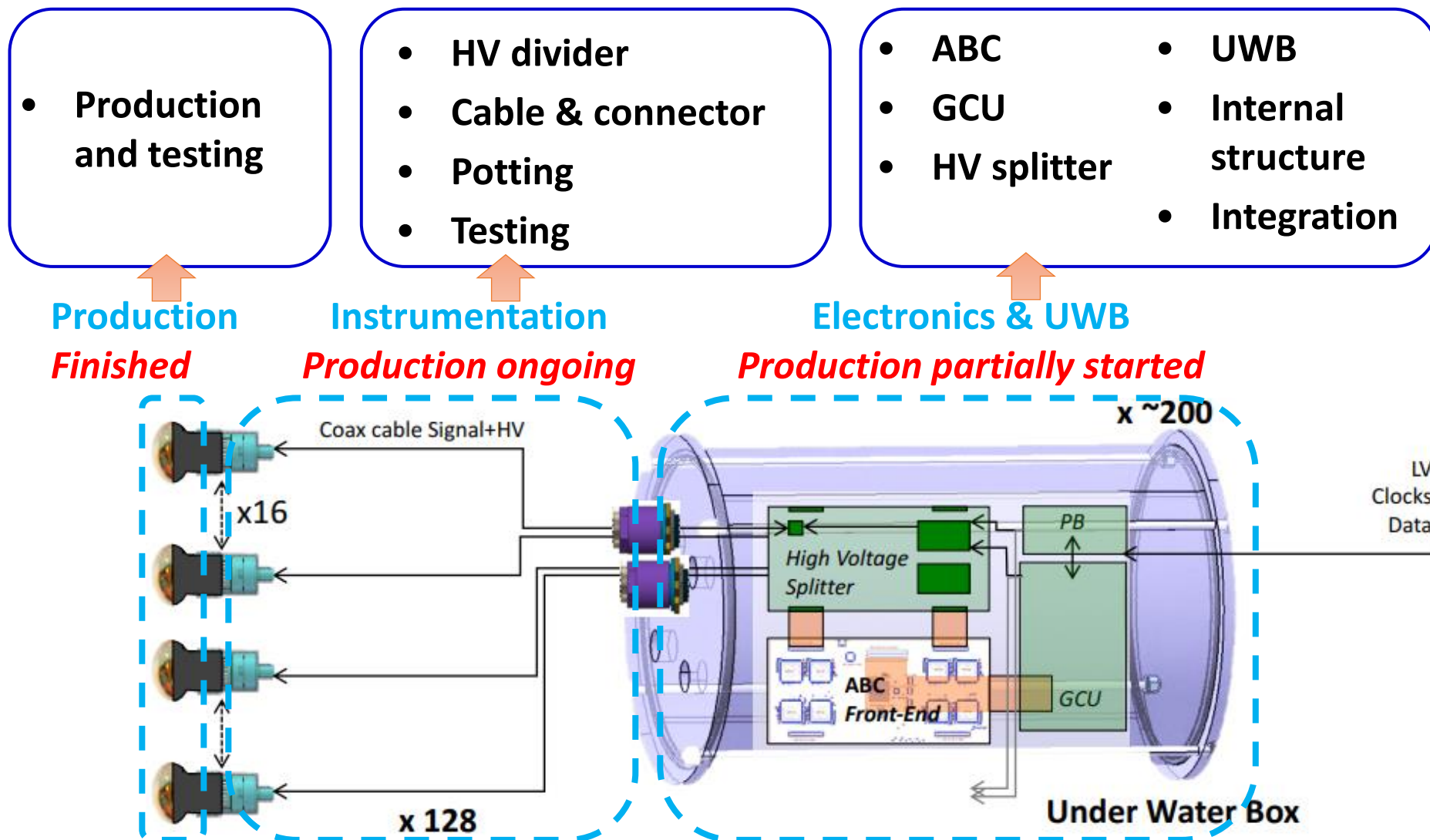
LPMT Under Water Box

- 3 ch. Photomultipliers
- High Voltage
- Decoupling HV/Signal
- Frond-End + digitalization Electronics
- Global Control Unit

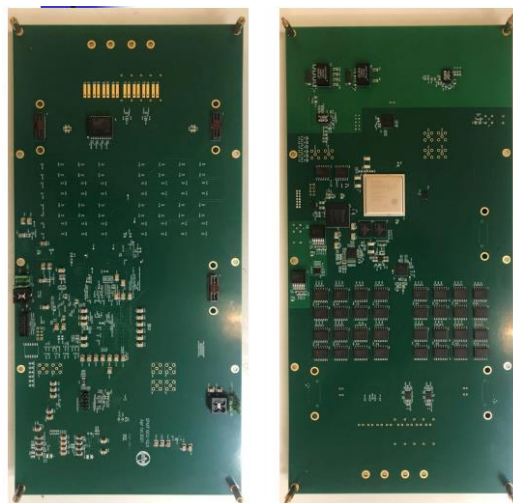
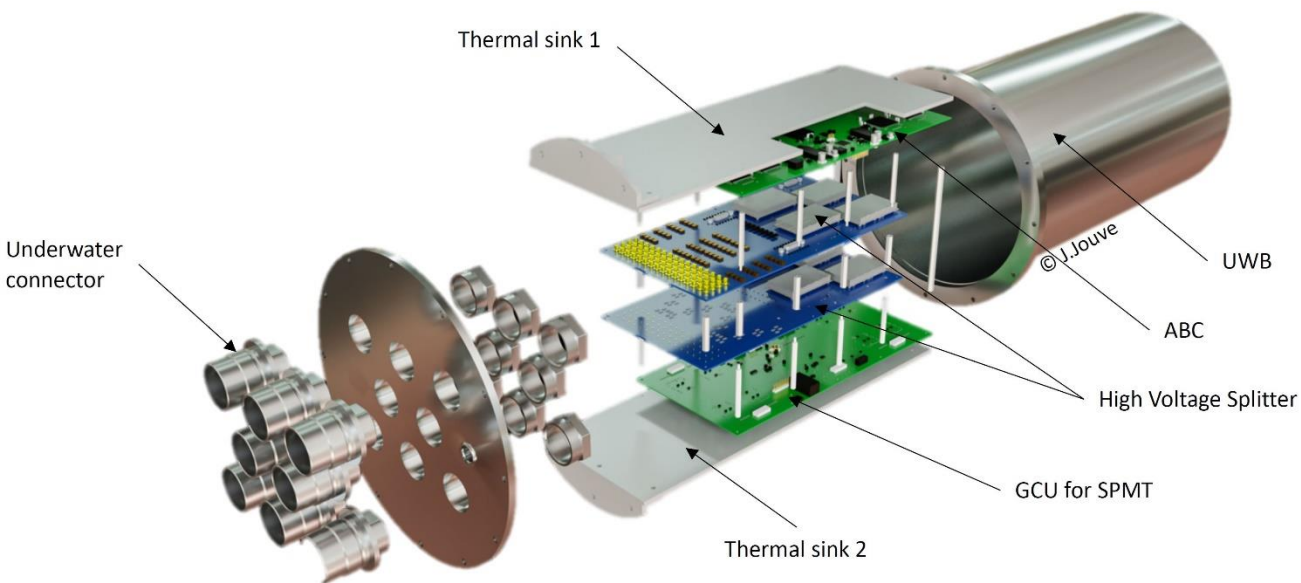
LPMT



SPMT 系统的组成



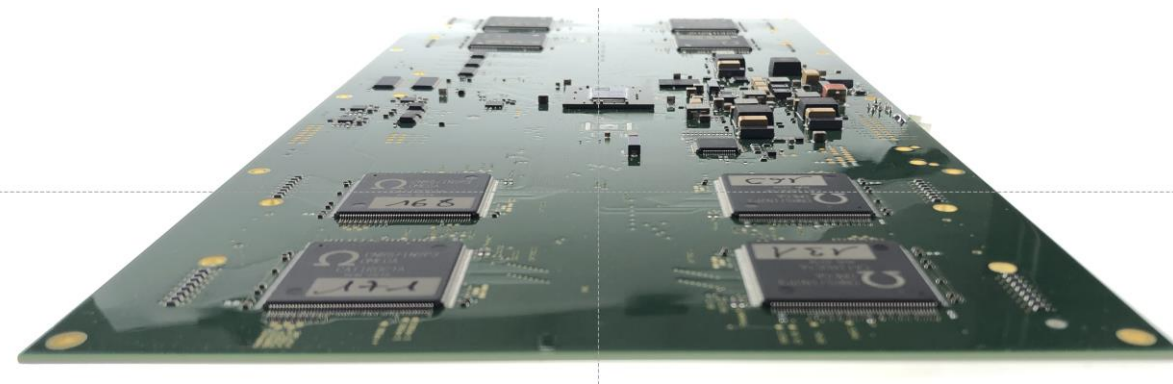
SPMT系统的电子学 (前端电子学都在水下)



➤ Global Control Unit



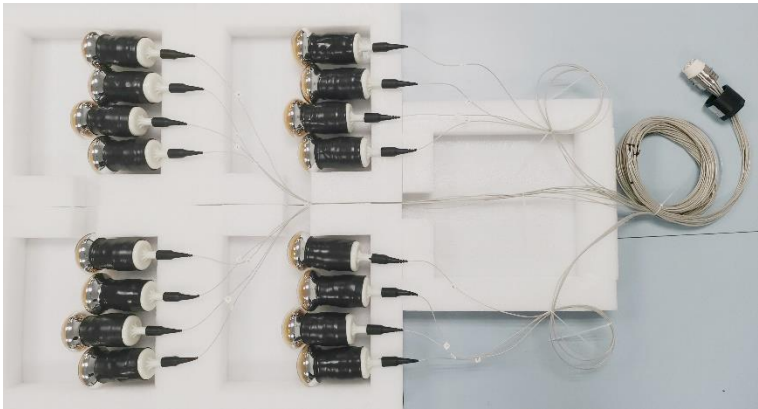
➤ 2 HV splitter boards to split HV and signal



➤ ABC (ASIC Battery Card): Eight 16-channels CATIROC (Charge And Time Integrated Read Out Chip) from Omega Lab, Kintex-7 Field Programmable Gate Array (FPGA)

3英寸PMT进展

- SPMT单元集成:
 - 16只PMT + 高压分压器 + 前端电缆 + 防水连接器
 - SPMT 前端集成完成 > 8000路 (约 1/3)
- 通过多通道的连接器为16只PMT提供相同的高压



2. 6万只3英寸PMT的裸管生产及测试(100%)
@海南展创

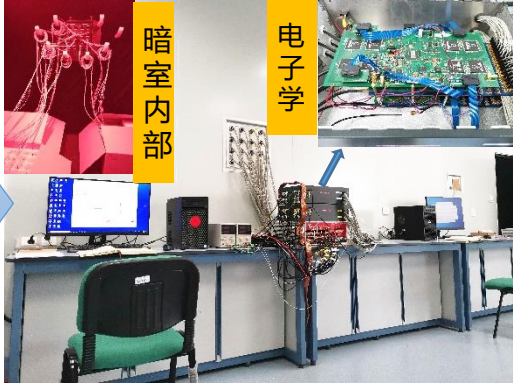
插头, 插座
@Axon

电缆密封件
@泛亚

防水封装, 密封性测试
@海南展创

验收测试
@广西大学

Bare PMT Testing Summary		
Parameters	Sampling data req.	Mean
1. Diameter Of Glass Bulb (mm)	78<Dia.<82	✓
2. QEXCE@420nm (%)	>22 (Mean>24)	25
3. HV@3X10 ⁶ gain	900-1300	1097
4. SPE resolution (%)	<45 (Mean<35)	33
5. P-V Ratio	>2 (Mean>3)	3.2
6. Dark Rate@0.25PE (Hz)	<1.8k (Mean<1k)	489
7. Dark Rate@3PE (Hz)	<30	7.2
8. SPE TTS (FWHM) (ns)	<5	4.9
9. Pre pulse ratio (10-90ns)	<5 (Mean<4.5)	0.4
10. After pulse ratio (50ns -20μs)	<15 (Mean<10)	4.8
11. QE non-uniformity (%)	<11	5.2
12. Effective Dia. Of cathode (mm)	>74 (Mean>76)	77.1
13. Spectral response range (%)	QE320>5	13.4
	QE550>5	8.8



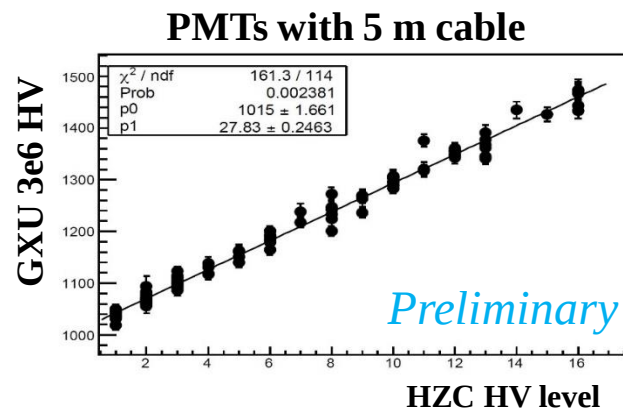
单位为1串 (1串对应16 个PMT通道, 使用相同高压供电)

SPMT验收测试@广西大学

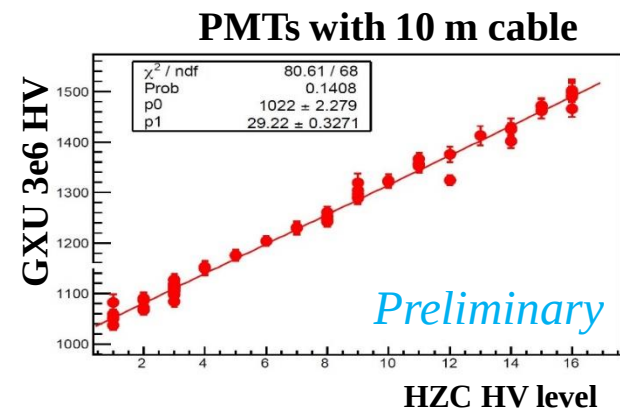
- 任务：完成2.6万只3英寸PMT的验收测试，目前已完成~32%
- 设计单天最大测量PMT数量：128×2 只
- 使用JUNO电子学(ABC-V0版)
- 主要关注参数：增益、spe分辨率、暗计数

- 根据出厂测试高压找到测试工作高压（3e6增益）

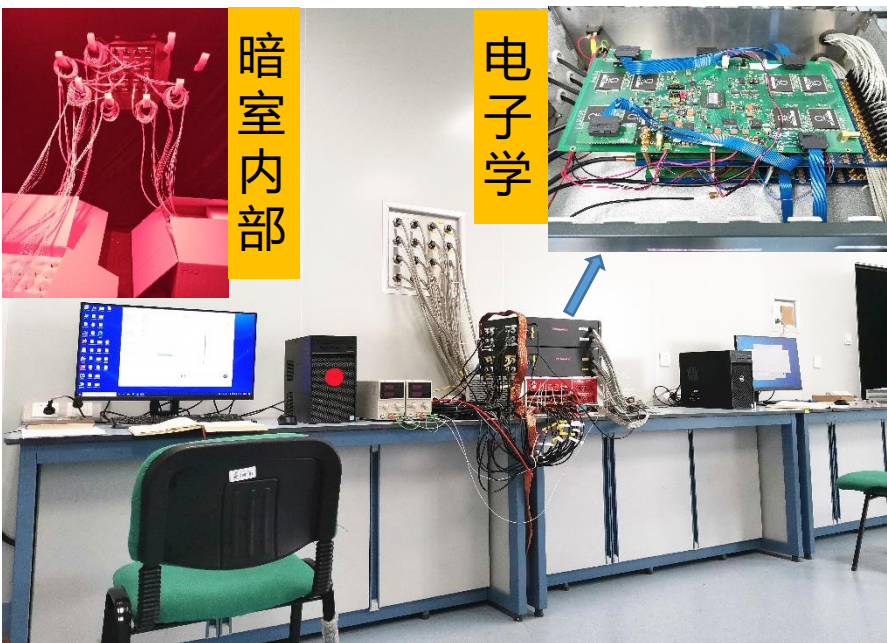
- 与裸管测试工况不同：HV splitter 20M Ω 分压及电缆长度等
- 注：HVC HV level 1 对应 (900, 925]V，以此类推



$$HV_{GXU} = 1015 + 27.83 \times HV_level_{HVC}$$



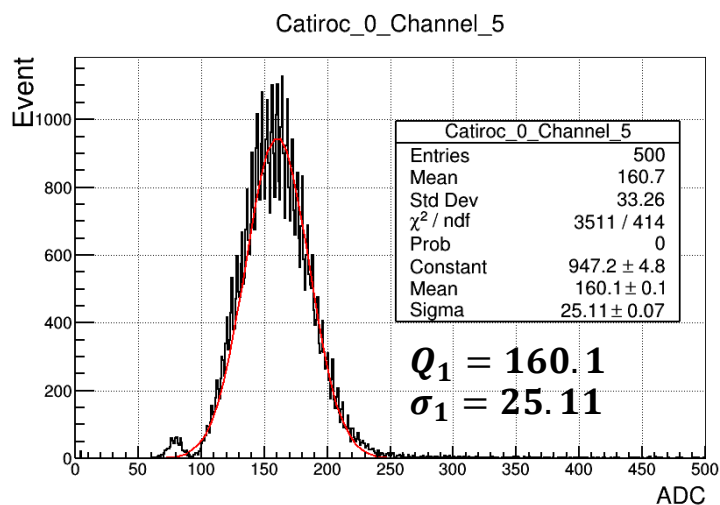
$$HV_{GXU} = 1022 + 29.22 \times HV_level_{HVC}$$



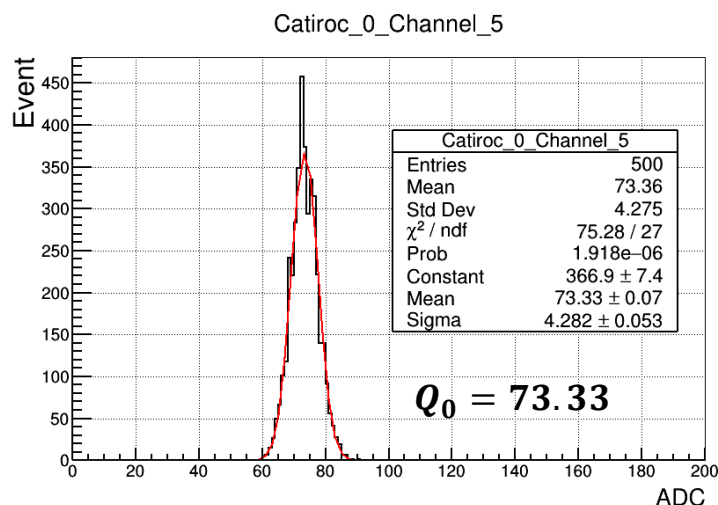
验收测试的三种取数模式

——使用SPMT JUNO电子学的V0版，接近未来运行情况

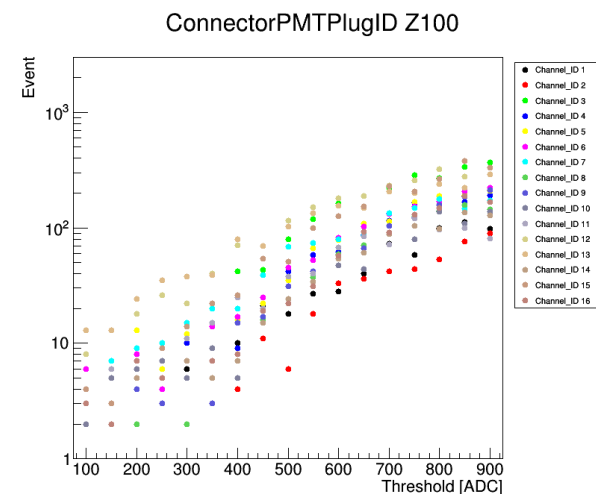
Physics run (过阈触发)



Pedestal run (强制触发)



S-curves run (自动扫描不同阈值)



$$\text{Gain} = \frac{Q_1 - Q_0}{1.6 \times 10^{-7} \times P_1}$$

➤ P_1 为CATIROC各个通道的刻度常数,
典型值为 160~190 [ADCu/pC]

$$\text{Resolution} = \frac{\sigma_1}{Q_1 - Q_0} \times 100\%$$

$$\text{DR}_{850\text{ADC}} = \frac{\text{NumEvent}_{850\text{ADC}}}{0.419 \text{ s}}$$

验收标准:

(PMT 工作在预期的 $3e6$ gain HV)

➤ Gain: [2e6, 5e6]

➤ Spe resolution: < 45%

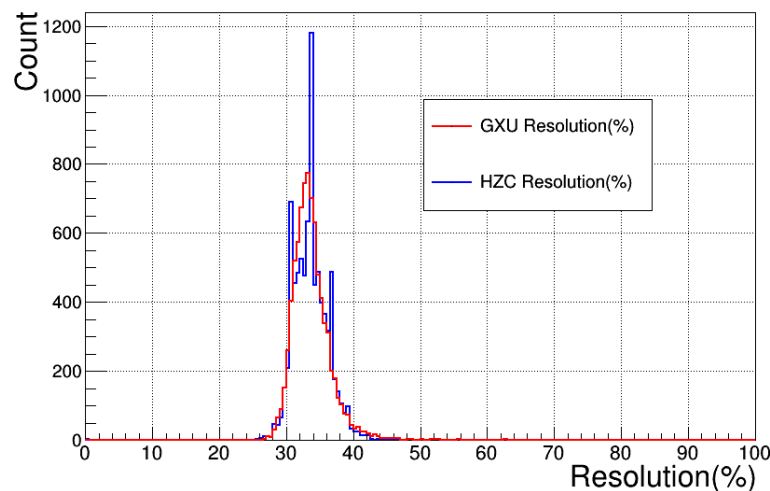
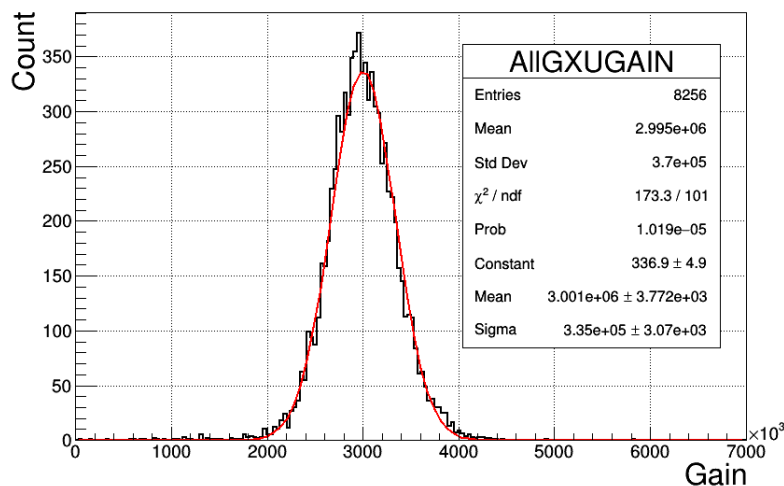
➤ Dark rate: < 3kHz

测试性能参数

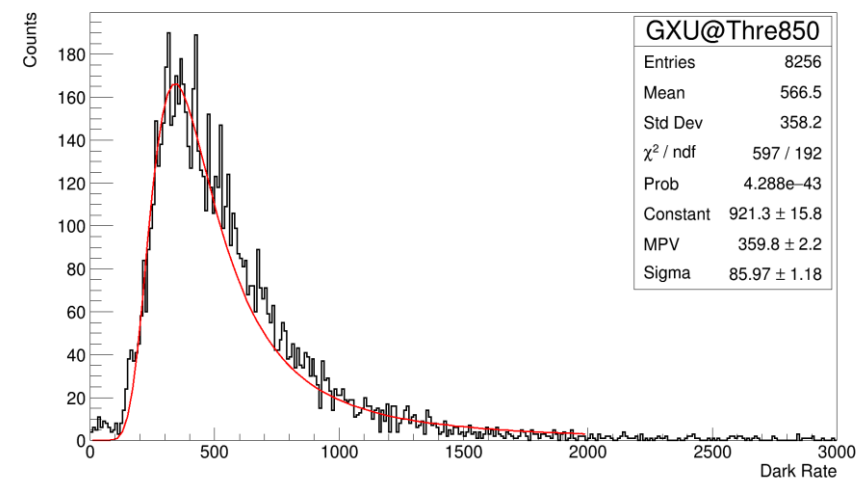
- 目前已测试PMT数量: 8256只
- 防水封装后的PMT整体性能良好
- 少量PMT性能不符合验收要求, 正在排查确认中

Gain spread: ~11.2%

AIIGXUGAIN



DarkRate GXU Test



总结展望

- SPMT 系统可以提供独立的测量，并与 LPMT 系统构成双量能器系统
 - 可用于精确刻度LPMT 的电荷重建非线性，控制残余非均匀性
 - 有利于改善能标精度和能量分辨率
- SPMT 系统具有丰富的物理潜力
 - 可以用于开展太阳中微子振荡参数测量，超新星中微子以及高能物理事例的研究
- SPMT 系统各个单元的研究进展顺利
 - 已完成2.6万只3英寸PMT的裸管生产及测试
 - PMT单元防水封装正在进行
 - 已完成8256只防水封装的PMT测试，性能良好
 - 分压器、电缆、插头、水下电子学盒及电子学（splitter、ABC、GCU）等进展顺利，部分已经开展生产及集成测试

Thank you for your attention!



Back up