

Performance analysis of JUNO 20-inch potted PMTs with 1F3 electronics prototype

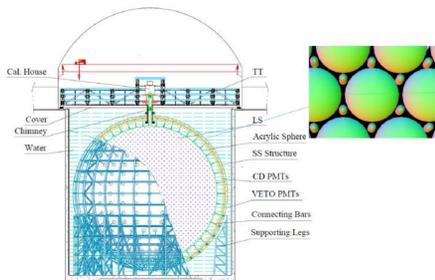
Caimei Liu^{a,b} (刘彩美), Min Li^{a,b} (李民)

^aInstitute of High Energy Physics, Beijing, China
^bUniversity of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

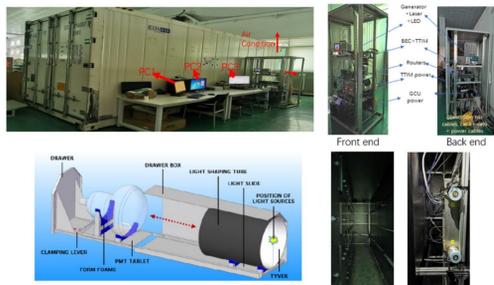
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

1、介绍

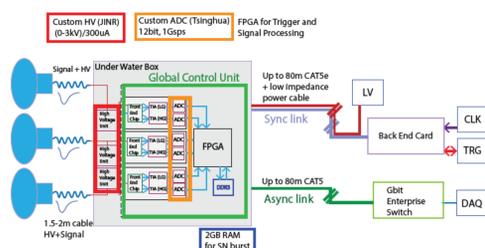
● JUNO 实验



● 集装箱系统



● 1F3电子学



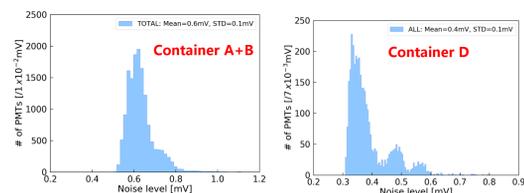
JUNO 计划使用大约20012支20-inch PMT, 其中包括5000支日本滨松打拿极光倍增管 (dynode PMT) 和15012支国内北方夜视 (NNVT) 生产的微道板型光电倍增管 (MCP PMT);

集装箱系统:
集装箱A、B: 配有商业电子学, 用于PMT验收测试;
集装箱D: 配有JUNO 1F3电子学(UWBox) 做20-inch PMT与1F3电子学的联合测试;

1F3电子学:可以同时连接三个PMT测试, 动态范围广, 线性响应良好 (< 10% for 1000p.e.), 对LS中的高分辨率重建能量十分有利。

2、20-inch PMT与1F3电子学联合测试分析---外部LED触发

● 1F3电子学与商业电子学的噪声水平



Container	A+B	D
Noise level	0.6mV	0.4mV

考虑系统噪声水平、PMT增益, PMT 暗噪声 (DCR) 测试的阈值设为1.8mV左右 (~0.25pe)。

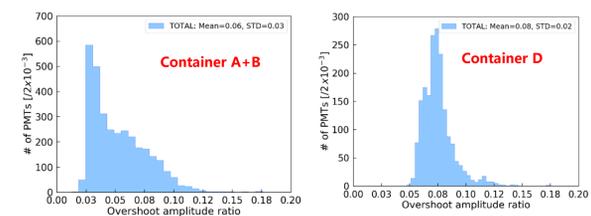
● 与商业电子学的对比

集装箱测量相对差别 R 及误差 Δ_R 定义

$$R = \frac{P_D - \bar{P}}{\bar{P}} \quad \bar{P} = \frac{P_D + P_{A/B}}{2}$$

$$\Delta_R = \frac{1}{2\bar{P}} \sqrt{(P_{A/B} \sigma_D)^2 + (P_D \sigma_{A/B})^2}$$

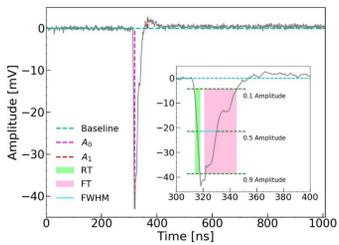
A_1/A_0	TATOL	Bare PMT	Potted PMT	HPK	NNVT
Container A+B	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06
Container D	0.08	-----	-----	0.08	0.07



> 1F3电子学和商业电子学的测试部分参数存在一定的差别, 但主体在误差范围内是基本一致的。

> 集装箱A/B从整体上来说过冲幅度比为6% (SPE信号幅度范围)
> 其中裸管的过冲比比poting管略大,
> 夜视与滨松的相差无几。
> 集装箱D滤波后, 振幅比从13%下降到8%, 比集装箱A/B的稍大。

● Container#D 基本性能参数分析



Types	A_0 /mV	A_1 /mV	$T_1 - T_0$ /ns	$T_2 - T_0$ /ns	A_1/A_0
Dynode PMT	8.4	1.2	43.6	49.0	0.15
MCP PMT	9.9	1.3	43.5	50.9	0.12

Dynode与MCP PMT的基本性能参数

Parameters	ALL PMT	Dynode PMT	MCP PMT	High-QE PMT	Low-QE PMT
HV /V	1799	1929	1722	1701	1745
Gain /10 ⁶	10.0	9.9	10.0	9.9	10.1
PDE /%	27.4	27.7	27.2	29.0	25.1
DCR /kHz	26.5	16.6	32.4	31.0	33.9
Resolution /%	30.5	28.0	32.0	32.7	31.2
P/V	3.8	3.6	3.9	3.9	3.9
FWHM /ns	10.5	10.8	10.3	10.4	10.1
S/N	14.3	14.2	14.3	14.2	14.4
Rise Time /ns	4.8	6.4	3.9	4.0	3.9
Fall Time /ns	11.9	8.9	13.6	14.1	13.1
Hit Time /ns	314.0	285.4	331.1	331.8	330.2
Relative TTS /ns	8.8	6.2	10.3	10.3	10.4
Amplitude /mV	8.1	7.9	8.1	7.9	8.4

Dynode与MCP PMT的 $R \pm \Delta_R$

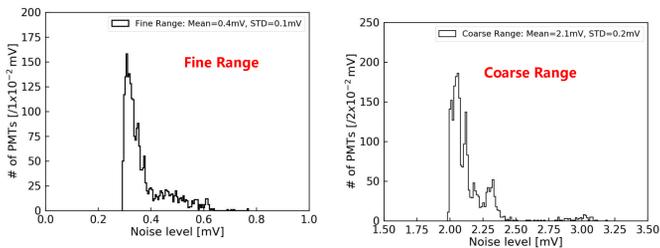
Parameters	Dynode PMT	MCP PMT
HV	0.007±0.004	0.002±0.005
Gain	-0.002±0.009	-0.009±0.022
PDE	0.006±0.016	0.008±0.020
DCR	0.03±0.11	-0.04±0.13
Resolution	-0.005±0.037	-0.007±0.045
P/V	-0.03±0.09	-0.02±0.13
FWHM	0.05±0.02	0.04±0.01
S/N	0.05±0.02	0.04±0.05
Rise Time	0.004±0.023	0.05±0.17
Fall Time	-0.05±0.02	-0.05±0.04
Hit Time	0.21±0.005	0.190±0.006
Relative TTS	-0.006±0.091	0.02±0.08
Amplitude	0.10±0.02	0.07±0.03

3、20-inch PMT与1F3电子学联合测试分析--- PMT自触发

● 数据获取模式

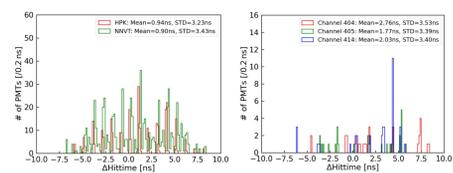
- 高阈值: 1000ADC and 4000ADC (fine range)
- 时间窗口: 10us
- 每次运行10000次触发
- 1F3电子学的两个量程:
 - > Fine Range (range1, High Gain): 1ADC=0.12mV 0-128 pe
 - > Coarse Range (range0, Low Gain): 1ADC=0.83mV 0-1000 pe

● 两个量程的噪声水平



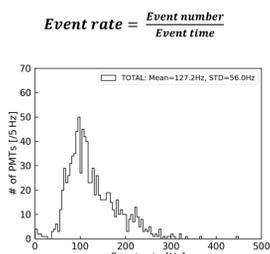
Range	Noise level /mV	Threshold /mV
Fine Range	0.4	2
Coarse Range	2.1	6.3

● 两个量程的击中时间差



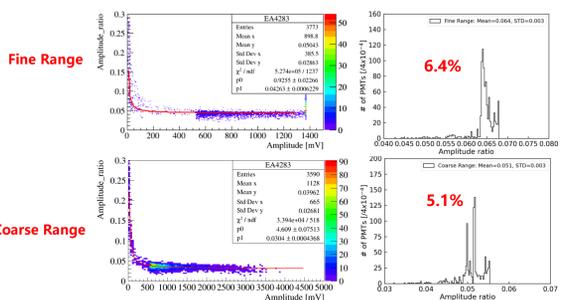
- 两个量程之间并非严格同步, 存在时间差;
- 同属于同一GCU的三个通道的时间差并不固定;
- 同一通道的时间差也不固定。

● 大信号的事例率



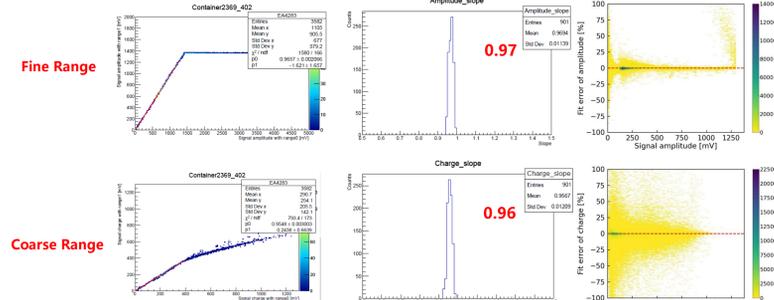
> 超过预设阈值的大信号的平均事例数大约为127Hz。

● 两个量程的过冲幅度比



> Fine range与coarse range的平均过冲幅度比大约为6.4%与5.1%。

● 两个量程的幅度、电荷的一致性

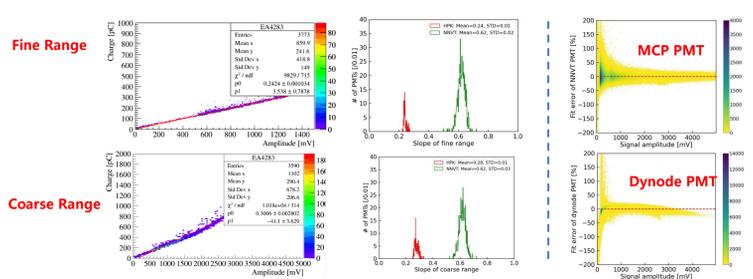


> 在Fine range的测量范围内, 1F3电子学的两个量程的幅度与电荷具有良好的线性关系。

Fit function: $Y = A \cdot X + B$

Fit error: $((Date_{fit} - Date_{test}) / Date_{test}) * 100$

● 两个量程的幅度与电荷的关系



> MCP PMT和dynode PMT的平均拟合斜率大约是0.26与0.62; MCP PMT比dynode PMT具有更好的幅度与电荷的线性关系。
> 随着幅度的增大, dynode PMT比MCP PMT更快地出现幅度与电荷的非线性。

4、总结

● 20-inch PMT与1F3电子学联合测试分析---外部LED触发

- 20英寸PMT与1F3电子学联合测试的SPE幅度大约为8mV;
- Dynode PMT的DCR为16.6kHz, MCP PMT的DCR更大, 为32.4kHz;
- PMT与1F3电子学和商业电子学测试的大部分性能参数在误差范围内是基本一致的, 但前者的过冲幅度比为8%, 稍大于后者的6%;

● 20-inch PMT与1F3电子学联合测试分析---PMT自触发

- 超过预设阈值的大信号的平均事例数大约为127Hz;
- Fine range与coarse range的平均噪声水平大约是0.4mV与2.1mV;
- 在Fine range的测量范围内, 1F3电子学的两个量程的幅度与电荷具有良好的线性关系。
- 随着幅度的增大, dynode PMT比MCP PMT更快地出现幅度与电荷的非线性。
- Fine range与coarse range的平均过冲幅度比大约为6.4%与5.1%;
- 两个量程之间存在时间差且并不固定。