

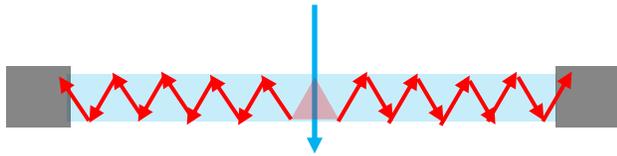
H-NS0 T0 Detector Update

李昕

中国科学院近代物理研究所

To Detector Requirements for H-NS0

- TOF系统时间分辨预期达到~35ps;
- 为配合LGAD实现>2GeV/c 3σ π/K 分辨, 要求计数率~10⁸/s, T0时间分辨达到: ~10ps。
- T0 探测器拟采用DIRC-like TOF设计方案;



$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{elec}^2 + \left(\frac{\sigma_{tof}}{\sqrt{N_{pe}}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_0}}{\sqrt{N_{pe}}} \right)^2 + \sigma_{trk}^2$$

Np.e.—光电子数量 (~100pe per track)

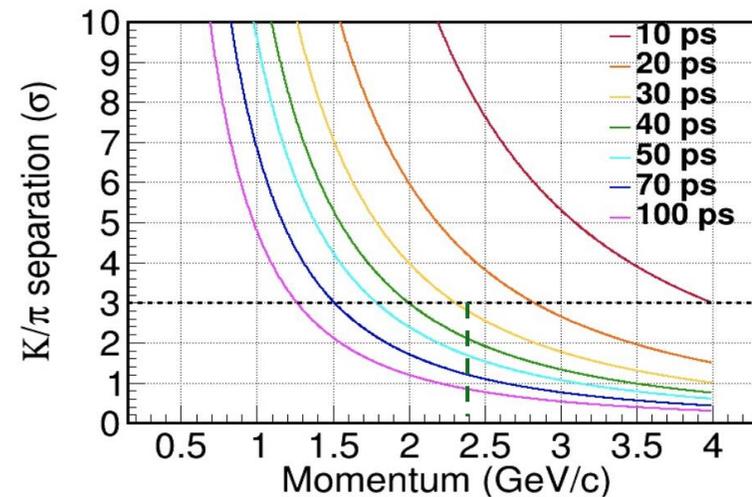
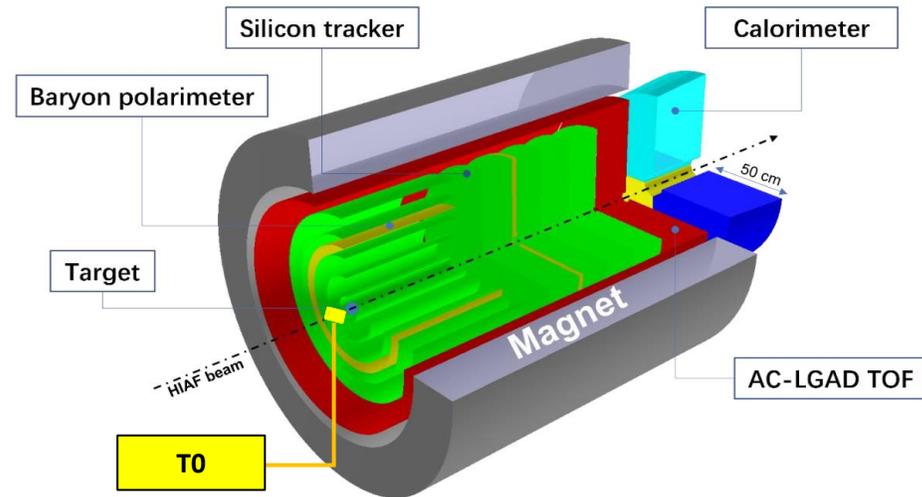
σ_{elec}:—读出电子学时间分辨 ~ 10ps;

σ_{tof}—TOF探测器本征时间分辨: 30ps for LGAD;

σ_{trk}—径迹重建导致的时间测量误差 ~ 10ps;

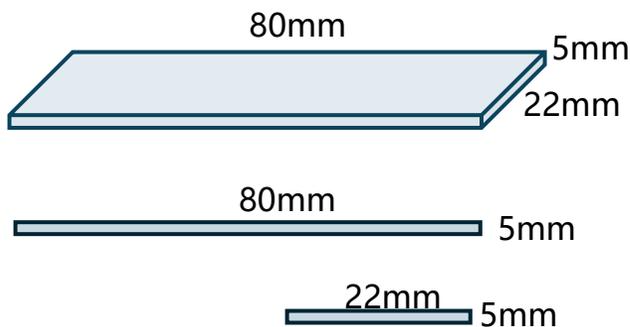
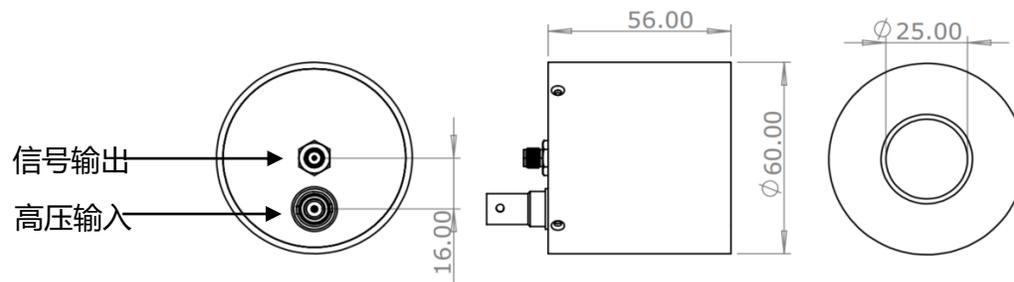
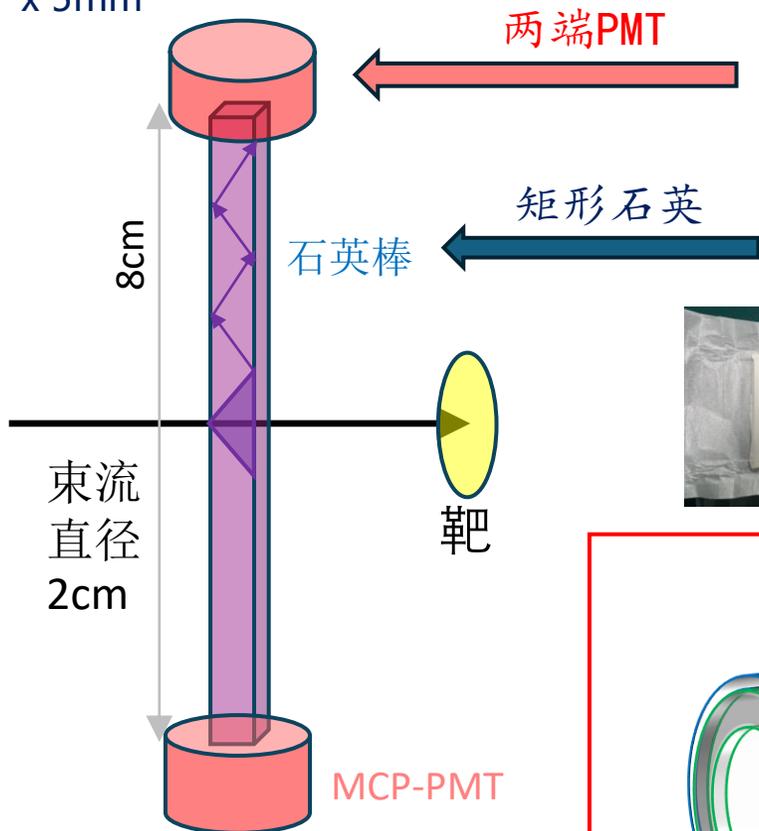
σ_{t0}—参考时间T0分辨 ~10ps

Hyperon-Nucleon Spectrometer (HNS)

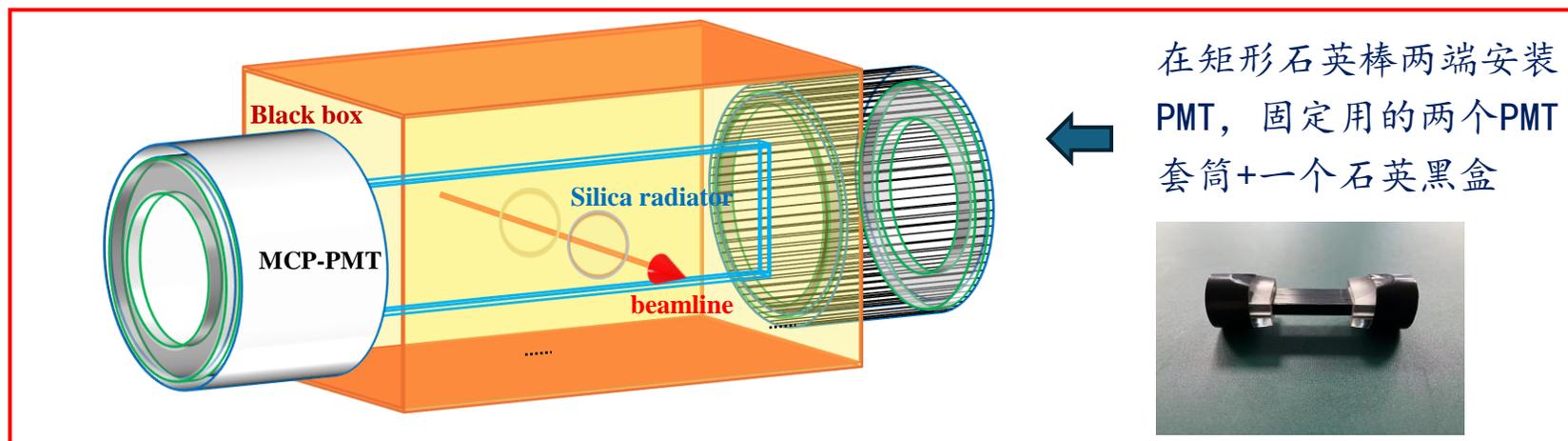


T0设计方案

- 西光所单阳极PMT: 单光电子TTS < 50ps; 电子学时间晃动 < 20ps, 100光电子应可实现 < 10ps的T0分辨率。满引出 10^8 粒子持续1s, 计数率约100MHz。
- 石英辐射体 (Corning/Heraeus): 80mm x 22mm x 5mm



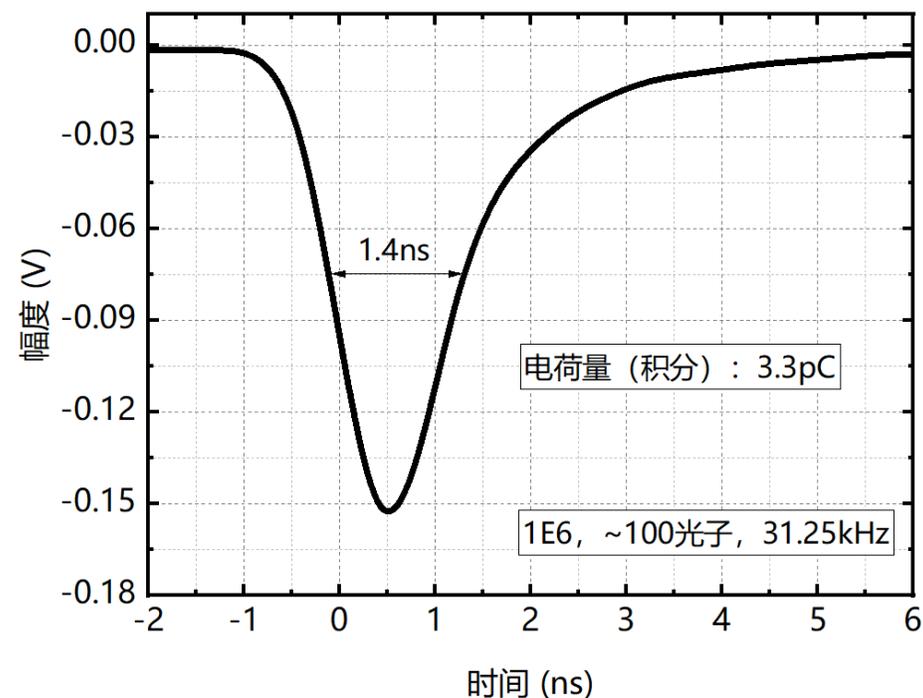
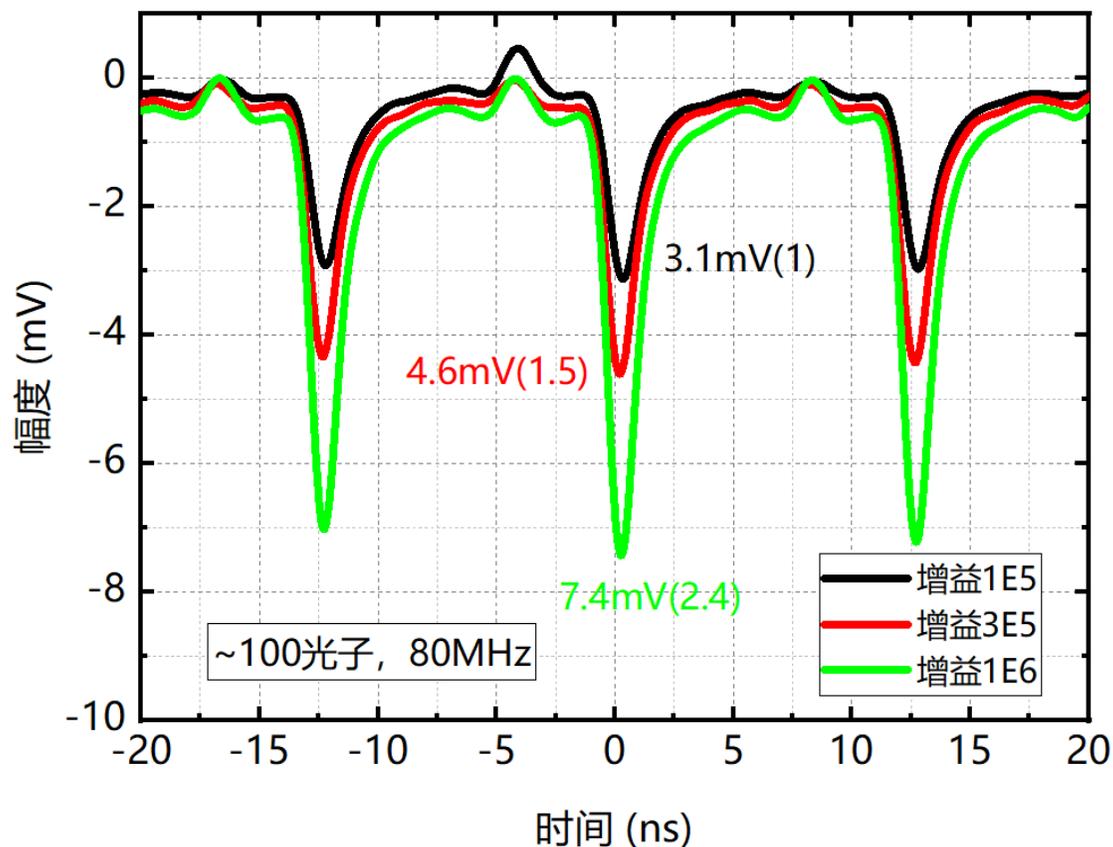
- ◆ 封装尺寸: $\phi 60 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}$ (可定制)
- ◆ 接口: 信号 SMA, 高压 SHV (负高压)
- ◆ 阴极光谱灵敏度 > 100 $\mu\text{A}/\text{cm}$
- ◆ 阴极峰值量子效率: > 20%



PMT高计数率测试 (25-251011-1)

80MHz驱动频率, ~100个光子入射 (整个阴极面)

因饱和效应, 单脉冲输出能力不随增益线性变化



不同增益下的单脉冲波形

第4届H-NS探测系统讨论会

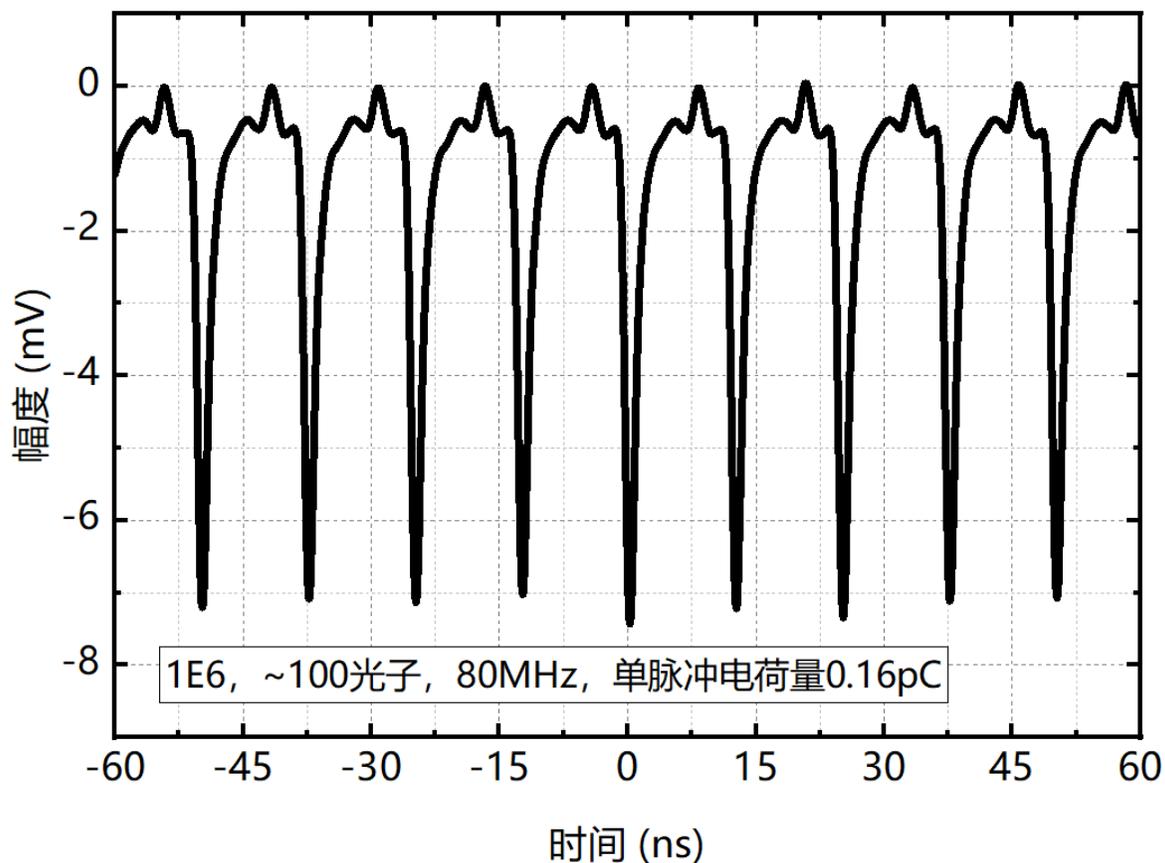
PMT高计数率测试 (25-251011-1)

单脉冲电荷量: 0.16pC

平均输出电流: $0.16\text{pC} \times 80\text{MHz} = 12.8\mu\text{A}$

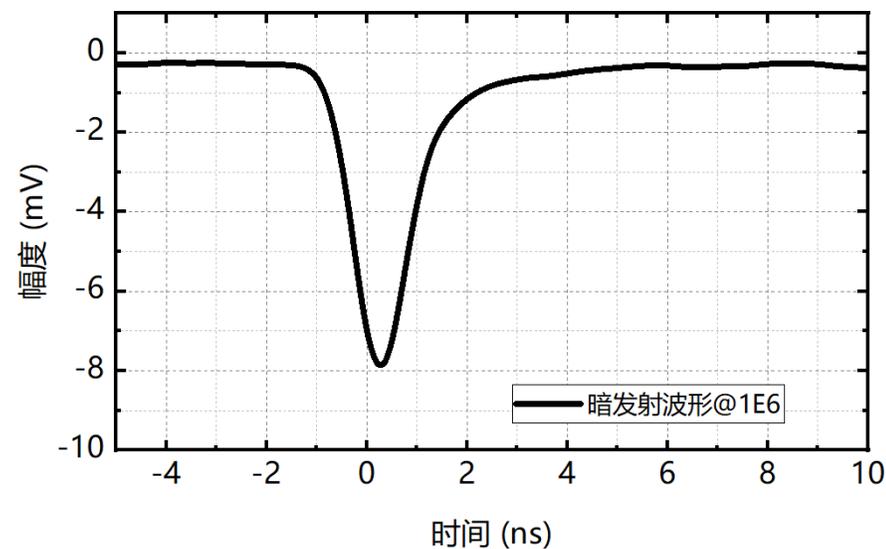
分压比例: 2:8:8:4 (阴极-MCP1-MCP2-阳极)

分压总电阻: $10.7\text{M}\Omega$ ($168\mu\text{A}@1800\text{V}$ $1\text{E}6$ 增益)

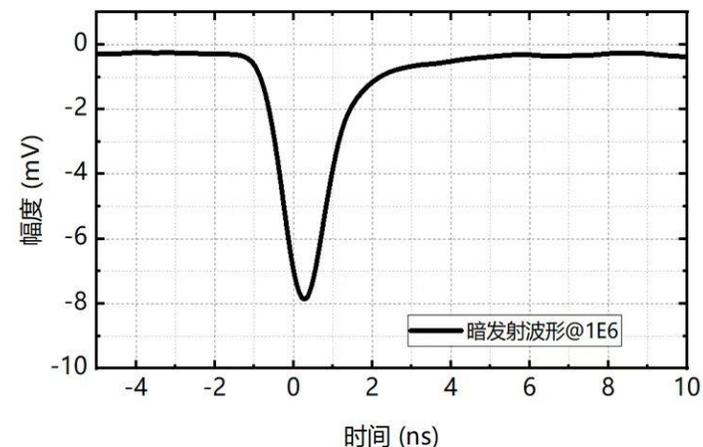
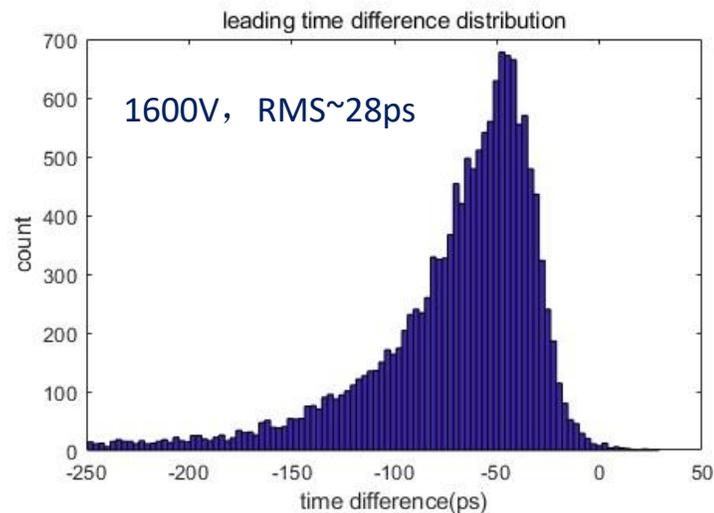
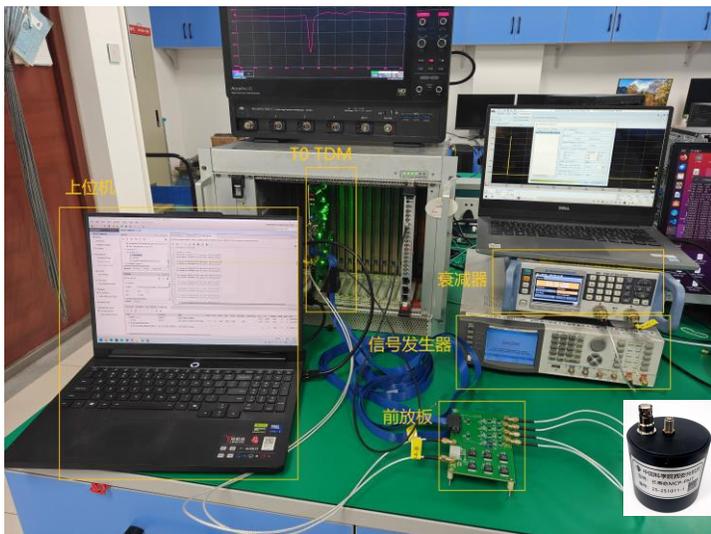


80MHz、1E6、~100光子, PMT输出信号波形

- 减小分压电阻, 难以显著改善饱和效应
- PMT信号幅度 $<10\text{mV}$, 需要读出电子学放大
- 暗噪声和信号幅度接近

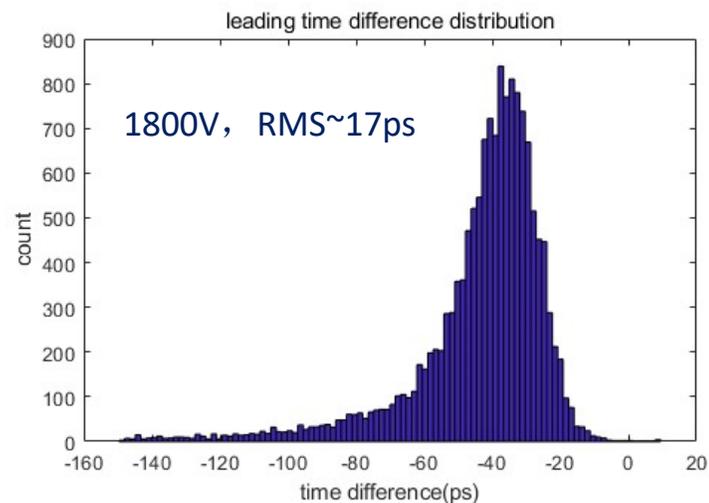


PMT+读出电子学的性能测试



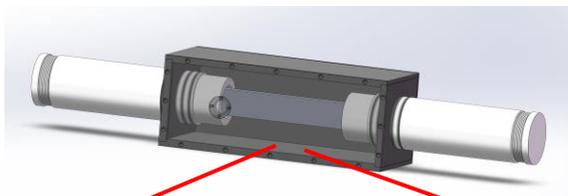
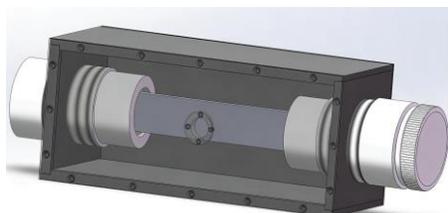
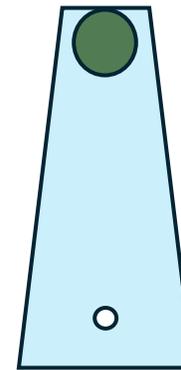
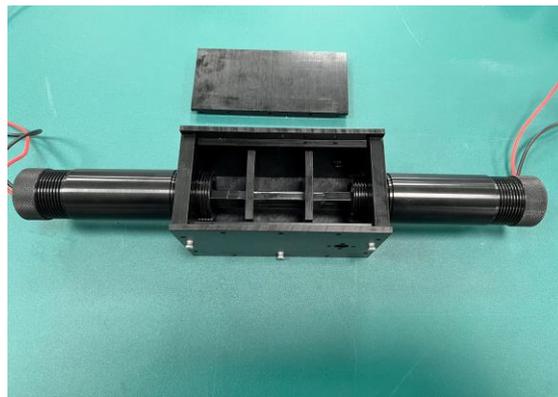
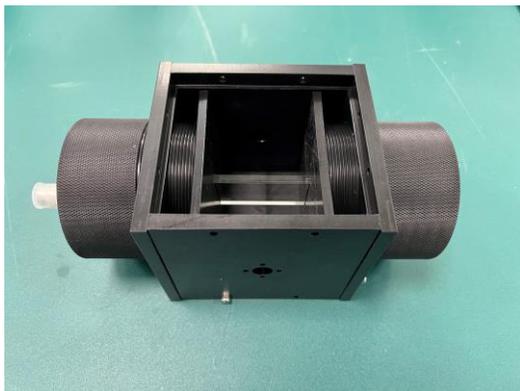
80MHz、1E6增益、~100光子，
PMT信号波形

- ❑ 单个西光所PMT+读出中科大电子学，测试其前沿定时晃动：前沿定时阈值~2mV，PMT工作电压1600V，RMS~28ps；PMT工作电压1800V，RMS~17ps。
- ❑ PMT接收光子数从100增至1000，饱和信号前沿变化不大。
- ❑ 下一步：TOT修正改善定时精度



80MHz、1E6增益、~1000光子，
PMT信号波形

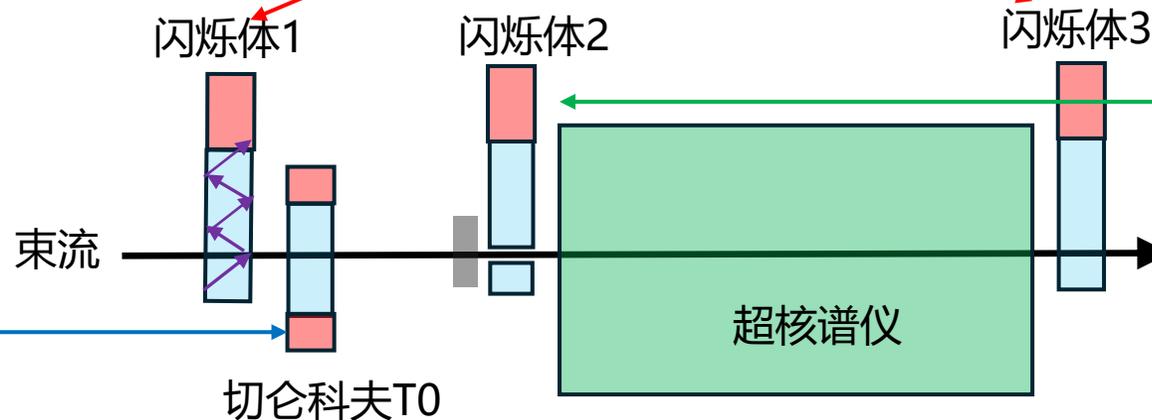
三个闪烁体探测器+切仑科夫T0黑盒加工



BESIII端盖TOF的
闪烁+PMT模块

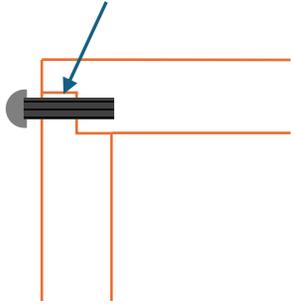
贺利氏石英+西光所PMT

EJ-230+滨松H6533

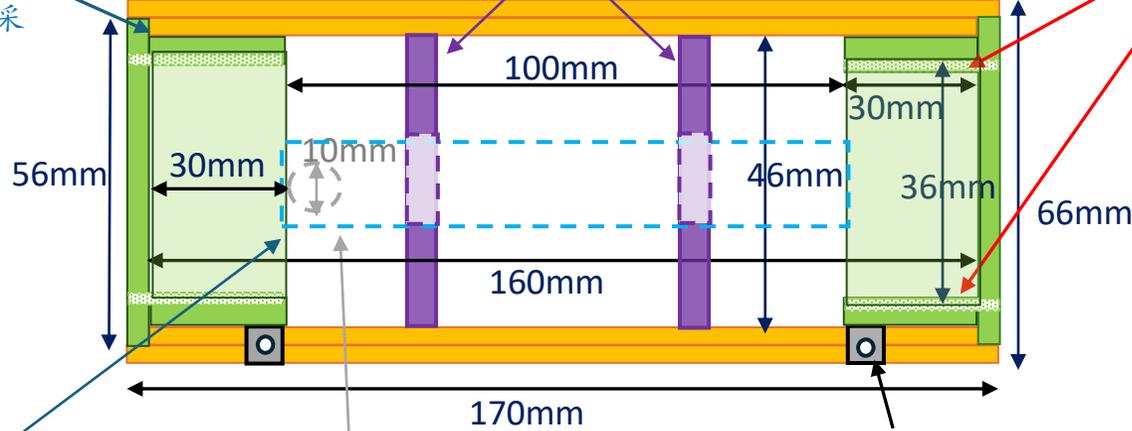


闪烁体黑盒：长170mm，宽66mm，高66mm，由6块板材拼装，用m3螺丝固定。板壁厚度5mm，螺丝数量、尺寸、板材上的打孔间距、材料（用黑色PA尼龙材料）

固定用螺孔打在底板的台阶侧面，底板台阶的厚度要够打m3螺孔（5mm），最好采用黑色尼龙螺丝

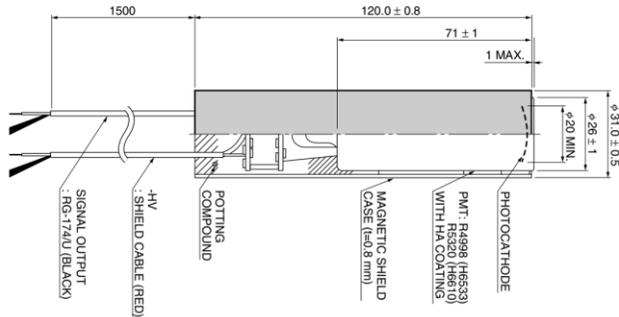


2对托架，用螺丝固定在侧面板材上，可以拆卸，中间有6mm宽，3mm深的，用于固定矩形石英

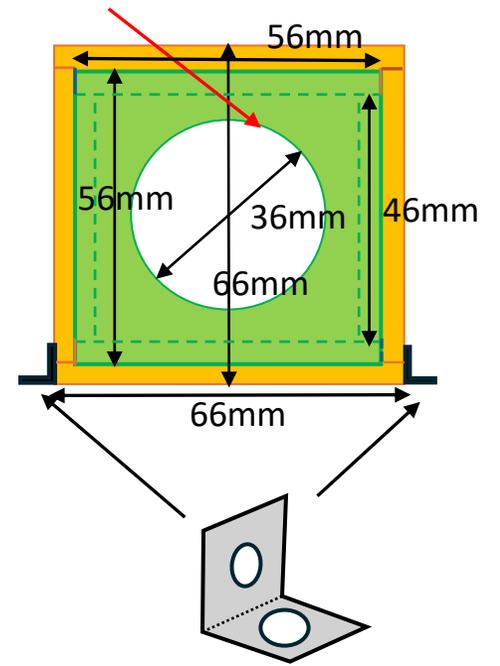


长100mm，厚6mm，宽19mm的矩形石英安装位置

前后侧板在闪烁体末端各开一个直径10mm的圆孔，每个圆孔配一个2mm厚度的14mm直径盖板，四边打螺孔（不要打穿侧板以免漏光），可以用小螺丝固定在侧板上，以便必要时把方孔挡住以避光。



两端直径65mm的开口，内侧刻有螺纹，以调整PMT套筒的插入深度，从两端顶住PMT+闪烁体



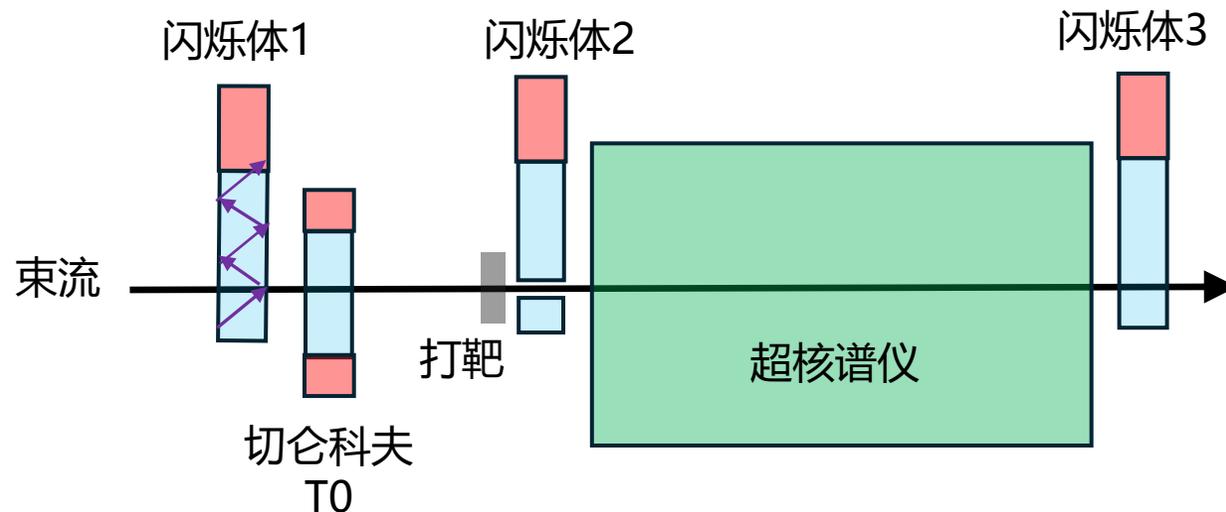
2对脚，打孔用于固定在黑盒和基座上

2对脚，两个面都打孔（可以插入m3螺丝），用于分别固定在黑盒侧面和机箱架子上

三个闪烁体探测器筛选+切仑科夫T0定时

针对超核谱仪，只记录束流打靶产生次级粒子的有效事例，计划采用三个闪烁体探测器筛选 + T_0 切仑科夫探测器定时的设计方案：

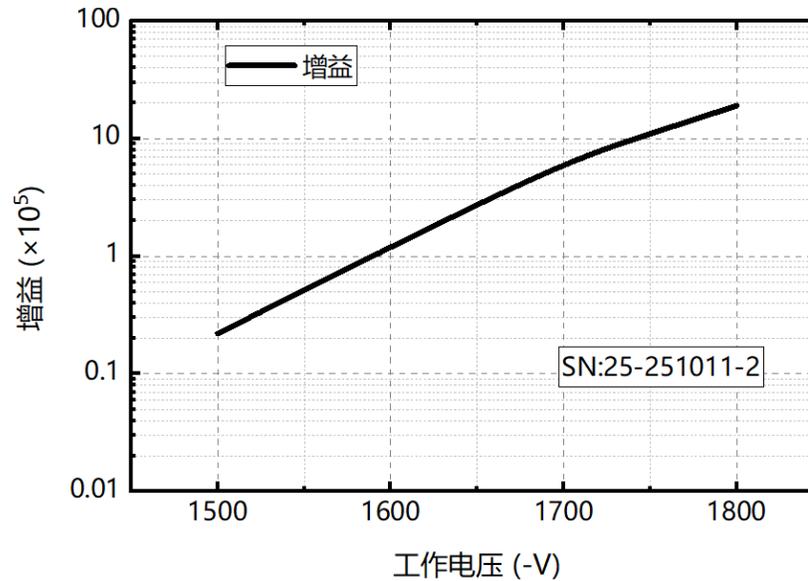
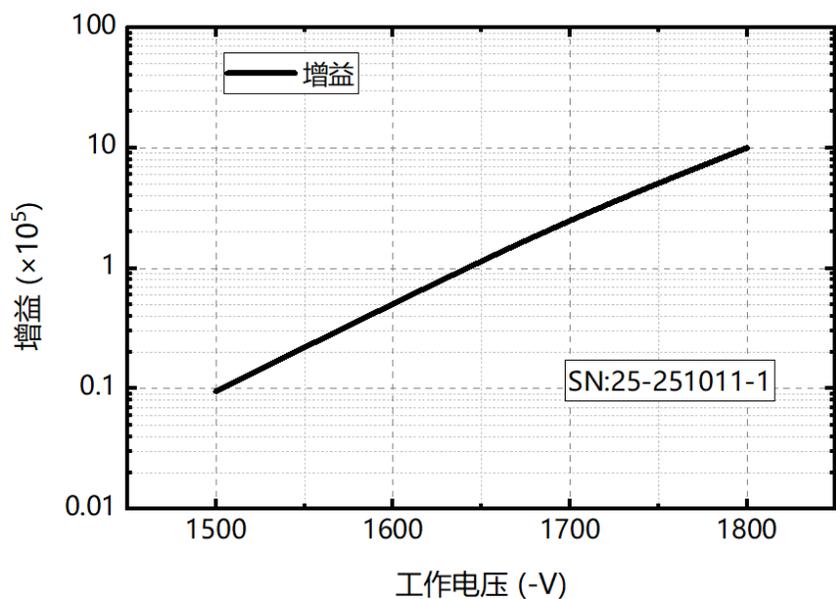
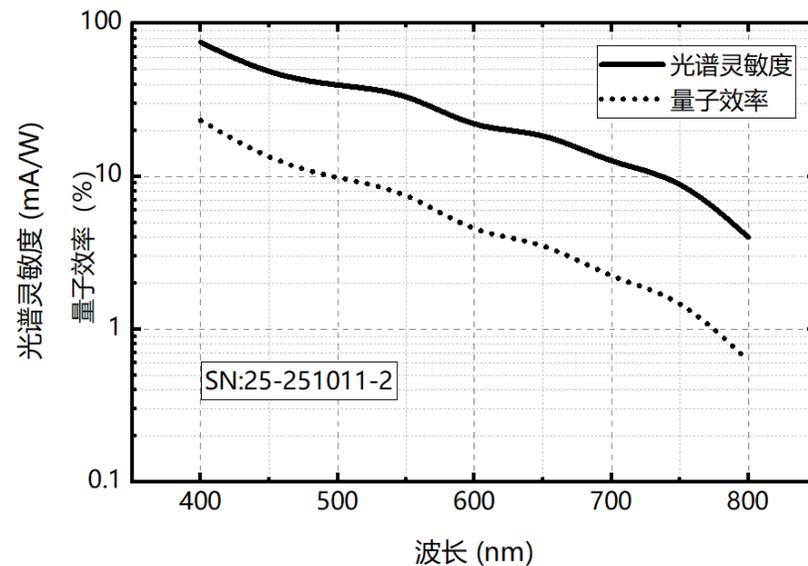
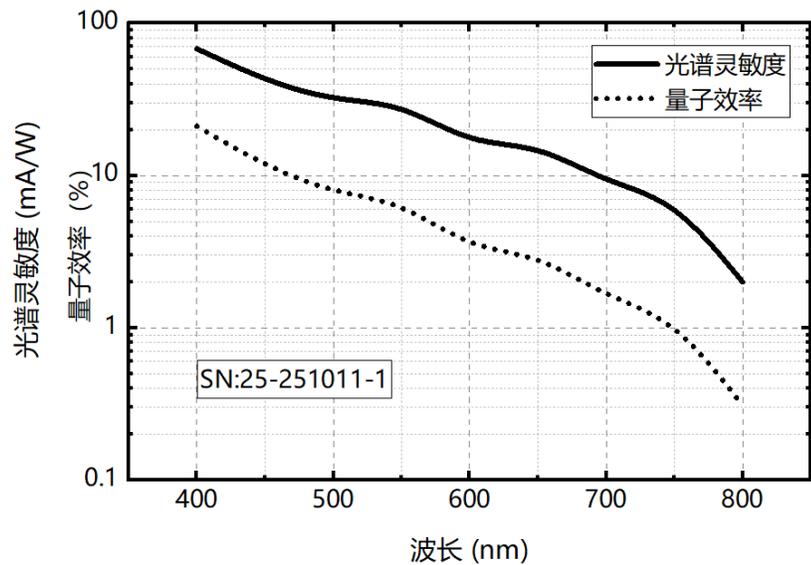
- 三个闪烁体探测器筛选：闪烁体1有信号 + 闪烁体2（开孔让束流通过）无信号 + 闪烁体3（束流线远端）有信号，三重符合意味着束流过靶但未产生次级粒子，电子学不记录
- T_0 探测器：PMT+石英✓，黑盒加工✓
- 闪烁体探测器：PMT✓，闪烁体打孔和黑盒加工✓
- 读出电子学测试中： T_0 的PMT+电子学初步测试✓， T_0 前沿定时TOT修正， T_0 +闪烁体探测器的甄别符合



谢谢!

Backup

西光所MCP-PMT性能测试



高计数率情况下PMT的饱和效益

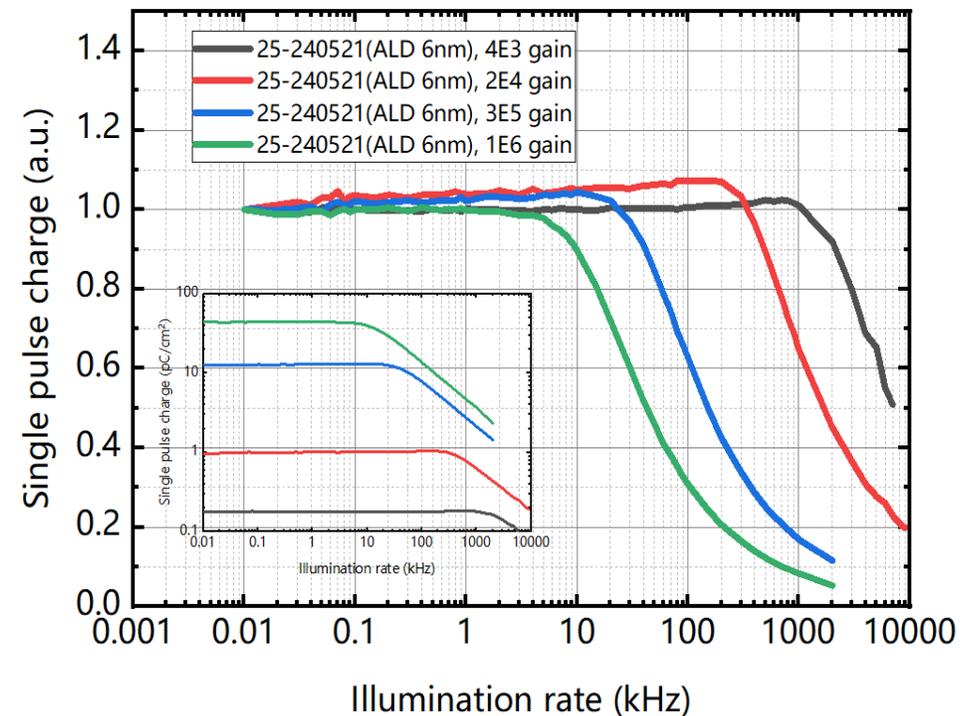
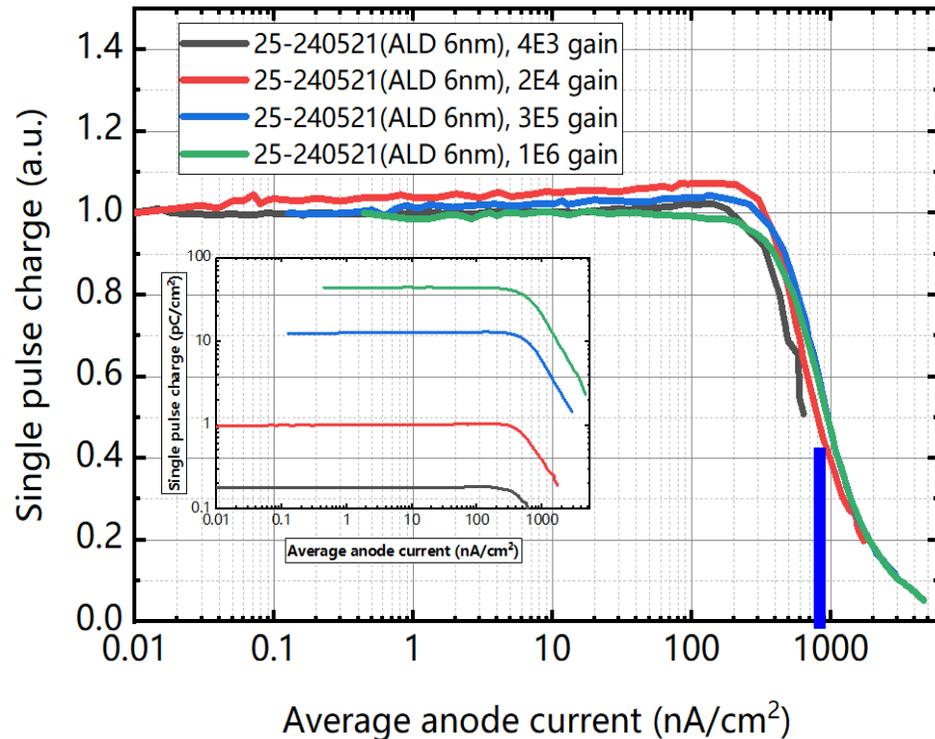
- PMT工作电流:

$$i(t) = 10^8 \times (100\text{pe} \times 20\% \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}) = 3.2 \times 10^{-4}(\text{A}) = 320\mu\text{A}$$

事例率 光电子数 QE 增益 电荷

对应PMT的平均阳极电流为: $290\mu\text{A}/\text{cm}^2$

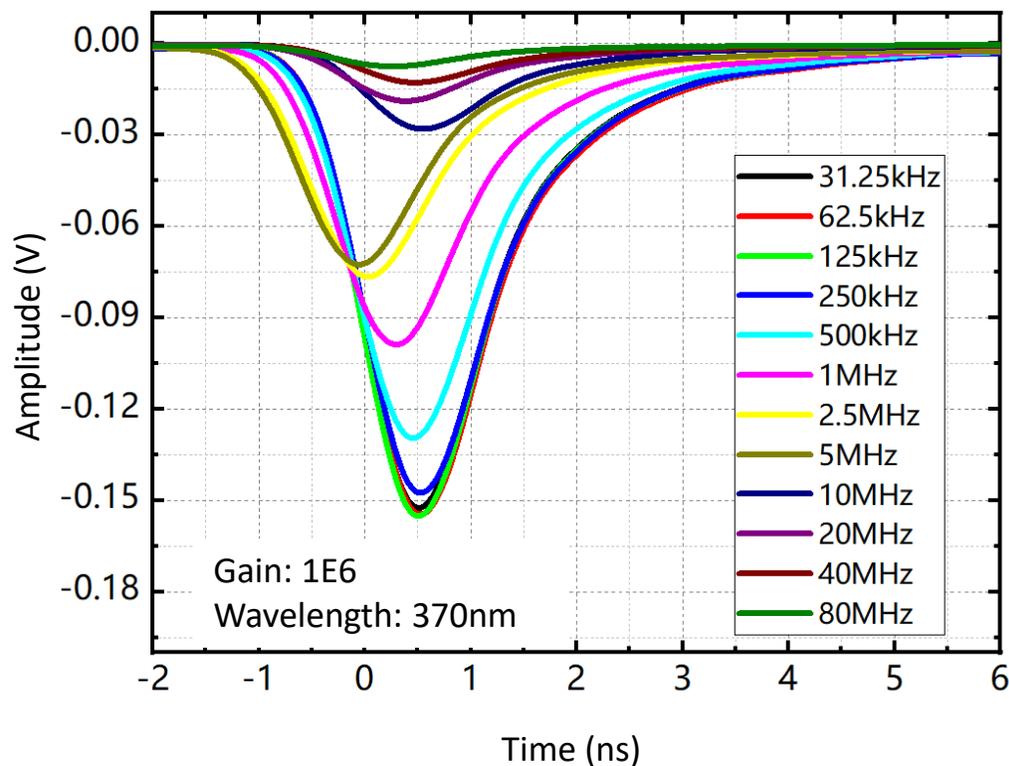
(MCP-PMT严重饱和, 单脉冲输出电荷量会大幅减小)



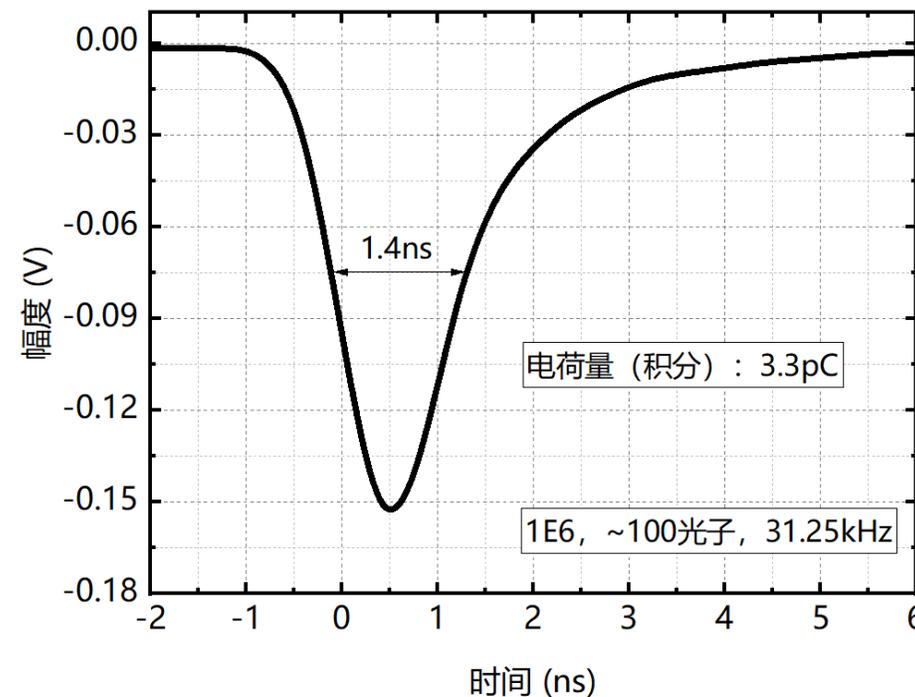
PMT高计数率测试 (25-251011-1)

增益1E6, ~100个光子入射 (整个阴极面)

随激光光源频率的增加, 输出逐渐饱和, 单脉冲输出能力降低



不同驱动频率下的单脉冲波形



$$Q = 100\text{pe} \times 20\% \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2\text{pC}$$

光子数 QE 增益 电荷

PMT高计数率测试 (25-251011-1)

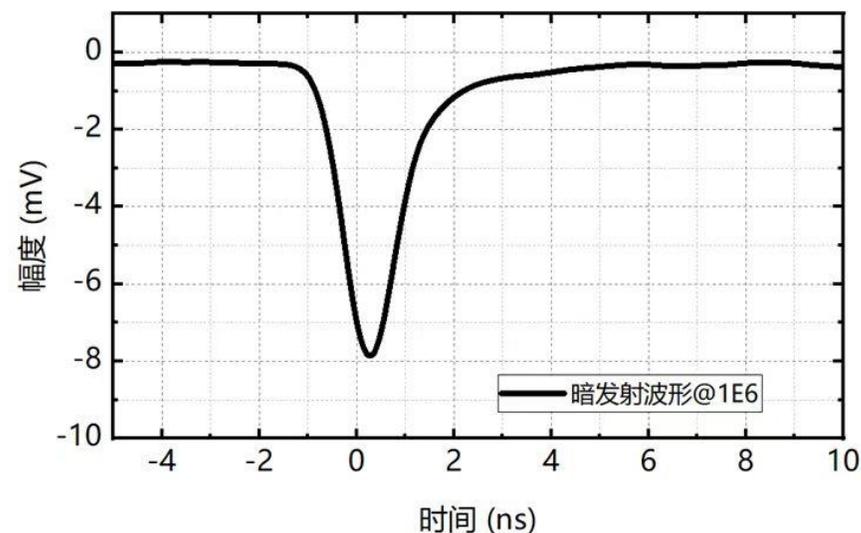
25-251011-1

阴极性能	测试条件	阴极~MCP: 200V, 光阑: $\phi 16\text{mm}$, 照度 1lx						
	光阴极积分灵敏度	121 $\mu\text{A}/\text{lm}$						
	量子效率@400nm	18%						
	光谱响应波长 (nm)	400	450	500	550	600	650	
	光谱响应 (mA/W)	57	35	26	25	14	14	
漏电流 nA	名称	漏电流						
	阴极-栅极	0.3@200V						
	栅极-MCP1	0						
	MCP2-阳极	0						
增益/ 暗电流 (最高测试 电压由暗电 流达 500nA 或管子接近 打火的工作 电压来决 定)	分压比	总电压 V	直流增益			阳极 暗电 流 nA	MCP 暗电 流 nA	回路电流 mA
			I_{in} nA	I_{out} nA	Gain			
	2:8:8:4	-1500	1.04E-3	9.9	9.5E3	0.3	0.025	0.14
	2:8:8:4	-1600	1.04E-3	52.8	5.1E4	2.5	0.1	0.15
	2:8:8:4	-1700	1.04E-3	269	2.6E5	12	0.6	0.159
	2:8:8:4	-1800	1.04E-3	1.86	1.0E6	35	3.5	0.168
2:8:8:4								

增益1E6

结论:

- 1、-1800V 阳极暗计数: 1.5KHz (10mV), 0.17KHz (20mV)
- 2、-1800VMCP 组暗计数: 0.1Hz (10mV), 0Hz (20mV)



PMT暗噪声波形和计数: 双PMT的
暗噪声符合触发几率 $\ll 10^8\text{Hz}$

感谢西安光机所的陈萍和李奎念老师的支持和帮助!