

WCDA动态范围扩展系统 标定方法研究

曾宗康 (zengzk@ihep.ac.cn)

2018/3/23

目录

- 动态范围扩展系统介绍
- WCDMA++电荷标定方案及实验测试验证
- 总结

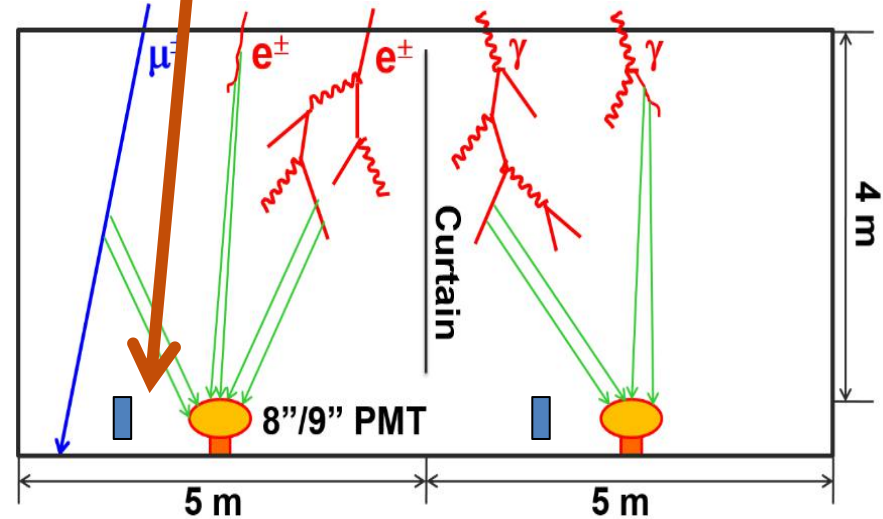
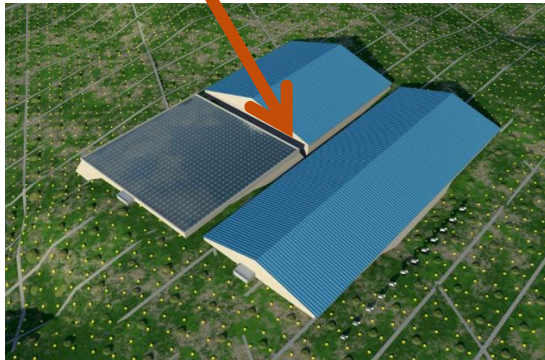
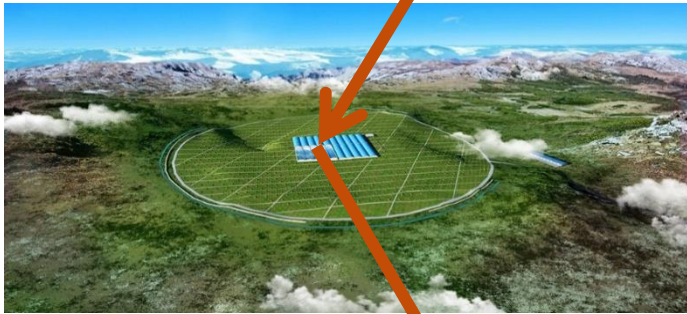
LHAASO--WCDA介绍

- LHAASO Site:
四川、稻城、海子山
- 4,400 M



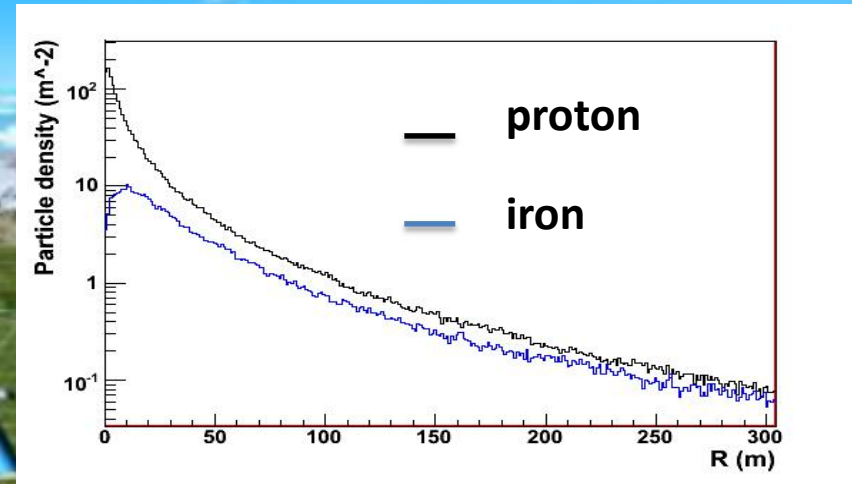
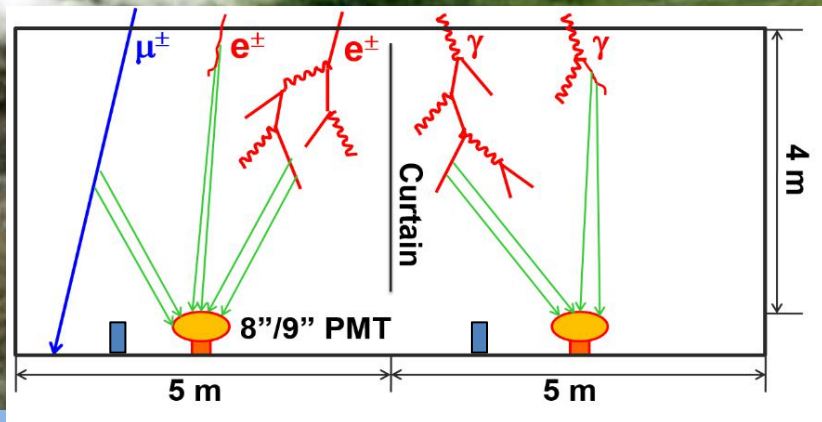
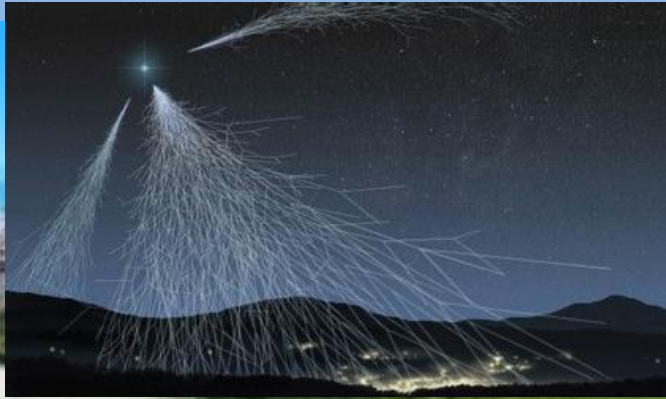
WCDA (水切仑科夫探测阵列)

- 占地面积: 7,8000 m², 3水池; (1-130, 30-400)
- 有效水深: 4.0 m;
- 单元尺寸: 5 m × 5 m;
- 光敏探头:
 - ◆ 大尺寸PMT (8英寸); (100Gev-30TeV)
 - ◆ 小尺寸pmt (1.5英寸) (100TeV-10Pev)



WCDA动态范围扩展系统介绍

物理动机：100TeV ~ 10PeV宇宙线成分能谱的精确观测

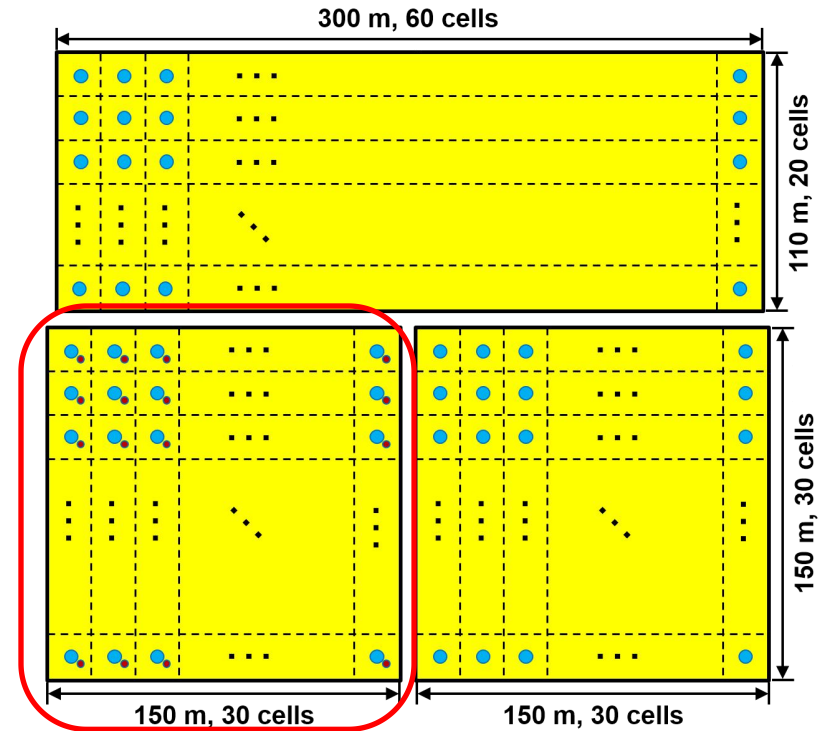


实现方法：多参数观测EAS

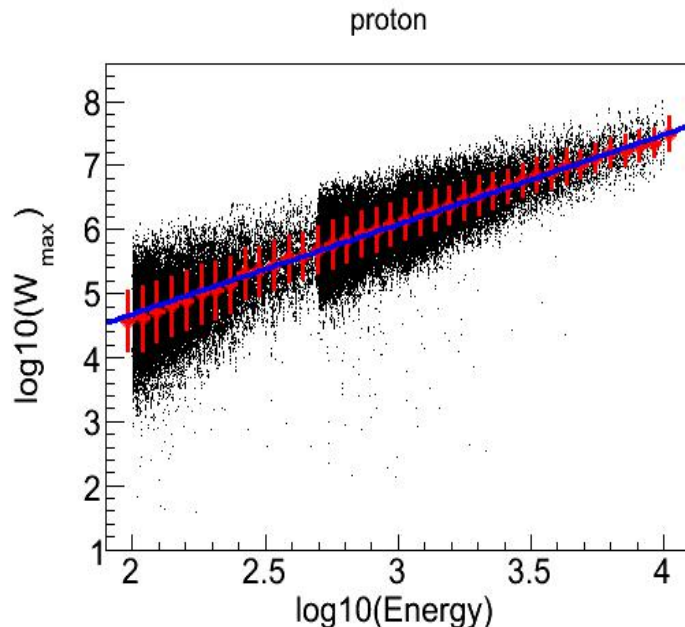
WFCTA（能量，Cherenkov像的长宽比），MD（Muon数目）
WCDA（方向信息，剩余能量），WCDA++（ E_{max} ，芯位，成分）

WCDA动态范围扩展系统介绍

- 覆盖面积：22,500 m²
- 单元个数：900
- 1.5英寸PMT：工作增益2E5
- 动态范围：四个量级
(20~20万PEs)



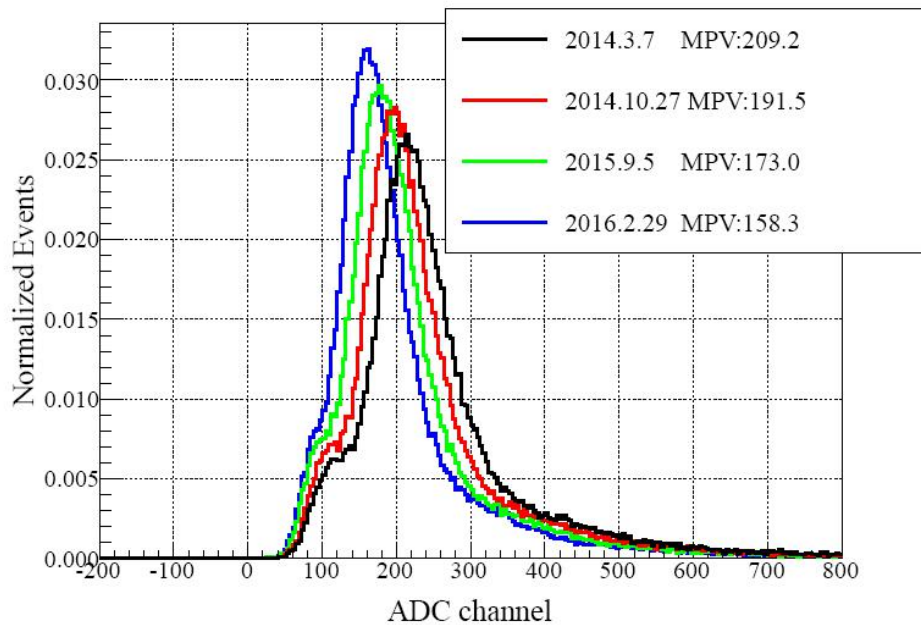
大PMT
单元探
测器光
子数



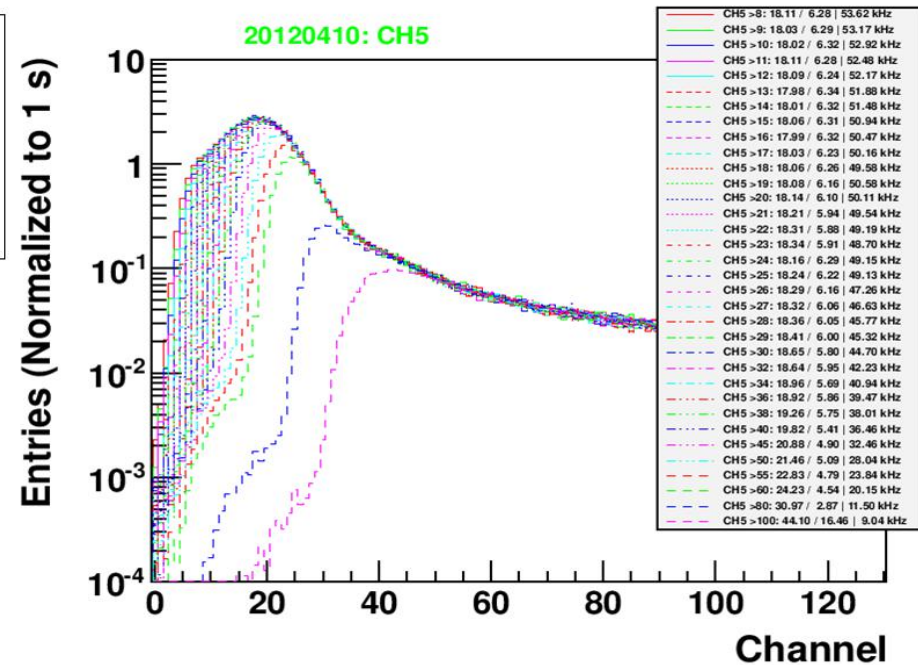
电荷标定是地面阵列重建宇宙线原初能量重要的刻度工作，电荷标定结果不仅是数据重建中得出宇宙线原初能量必不可少的测量量，也是表征探测器运行稳定的重要指标。

影响探测器信号变化的因素

- 外部环境变化（温度变化，水质等）；
- 电子学及供电系统（阈值、高压等，一般不会人为改变）；
- PMT的增益变化；



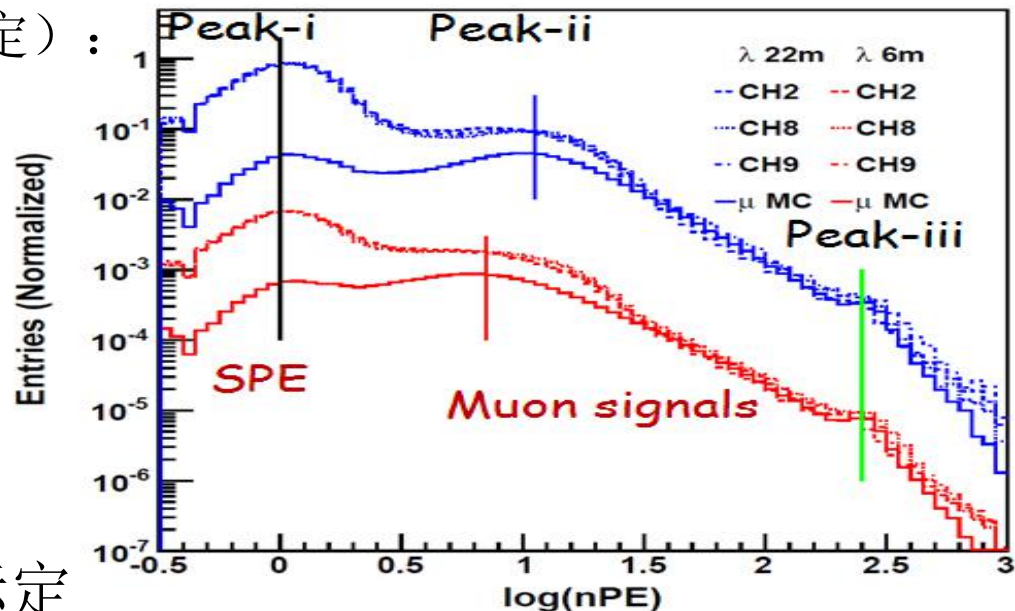
ASy muon峰随时间变化



阈值与ADC-count关系

常用的电荷标定方案

- 单光子SPE（PMT增益的绝对标定）：
 - WCDA, HAWC, IceCube
- 单粒子（粒子数的绝对标定）：
 - LHAASO-KM2A（ED, MD），
 - ASγ, Auger



例：WCDA大尺寸PMT电荷标定
(低spe、高muon 标定)

单元探测器的单路计数图

小尺寸 PMT 的工作增益为 2×10^5 ，在这个工作增益下：

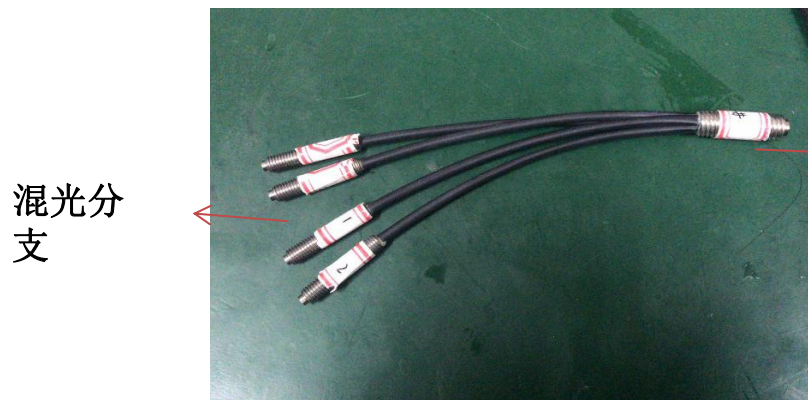
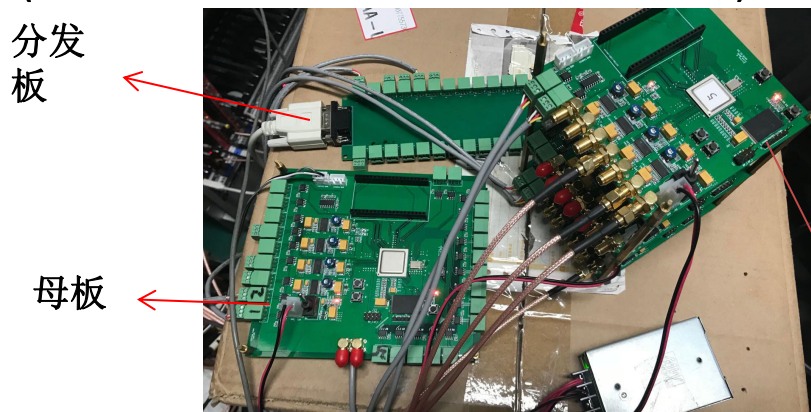
1. 前端电子学无法测量到单光电子 ($20 \sim 20$ 万)
2. 单 μ 峰实验上也测不到！

标定方案介绍

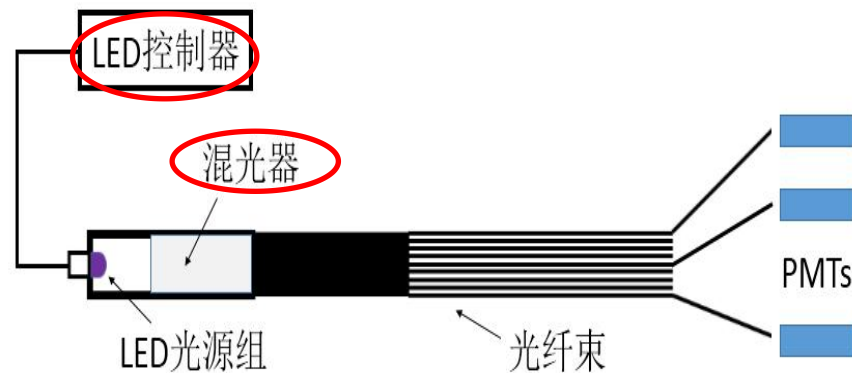
- 硬件设计：
 - 采用光纤束分光的方案；

✓ led控制组

(TTL==3.3v、同步性、逻辑控制)



混光器样品



✓ 混光器（50u石英光纤）



混光器端头出光效果

标定方案介绍

- 硬件设计：
 - 采用光纤束分光的方案；
- ✓ led光源组

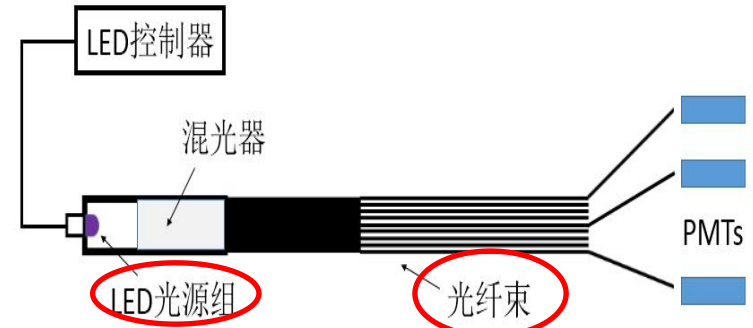


led选型 (470ns, 5.7cd, 3.2V, Broadcom, HLMP-CB2A-VW0DD)

- ✓ 41分支光纤束 ($\pm 10\%$)

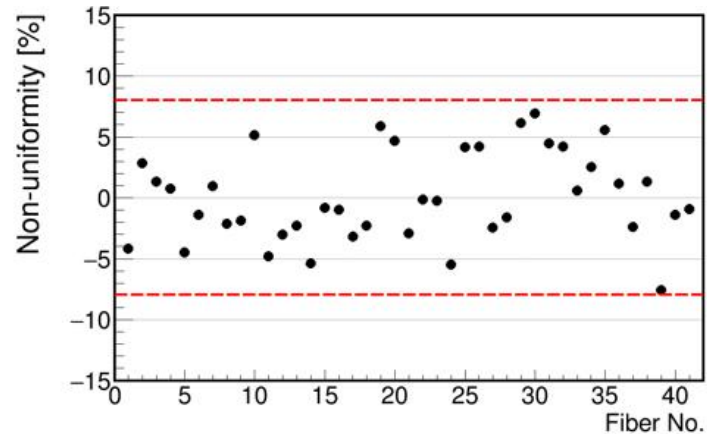


春辉光纤样品



与分光分支耦合

led耦合器件设计



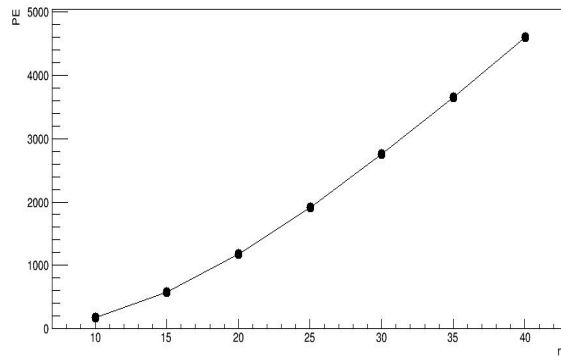
光纤不均匀度扫描 $< \pm 8\%$

标定方案介绍

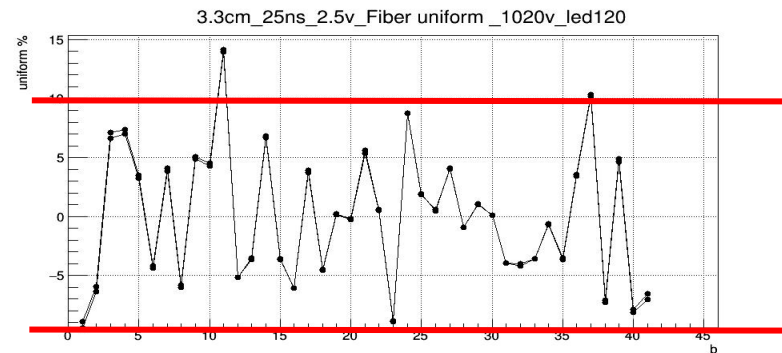
- 标定难点：
 - 工作增益的标定 (2×10^5)
 - 动态标定 (spe, 高压响应 $1 \times 10^5 \rightarrow 1 \times 10^7$) ;
 - 阳极打拿极增益比的标定 (**1000~4000PEs**)
 - LED光源组 (大光强 (led、width, 光筒长度), 同步 @465nm) ;



8分支混光器



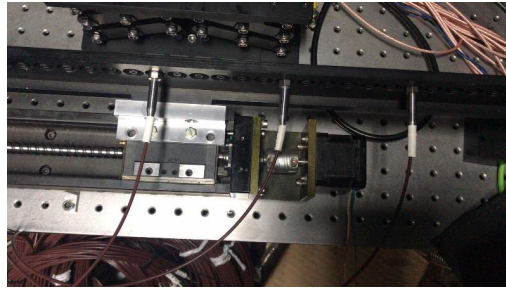
光筒长12.4cm,3.3v,不同脉宽下的输出光子数



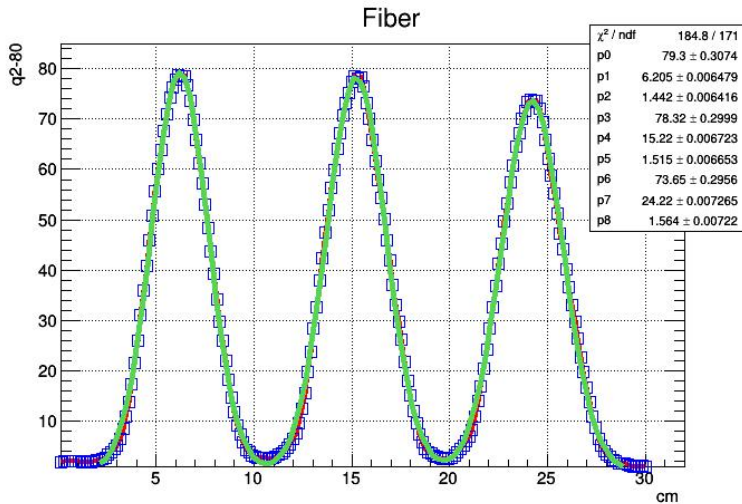
光筒==3.3cm 满足±10%<36根

标定方案介绍

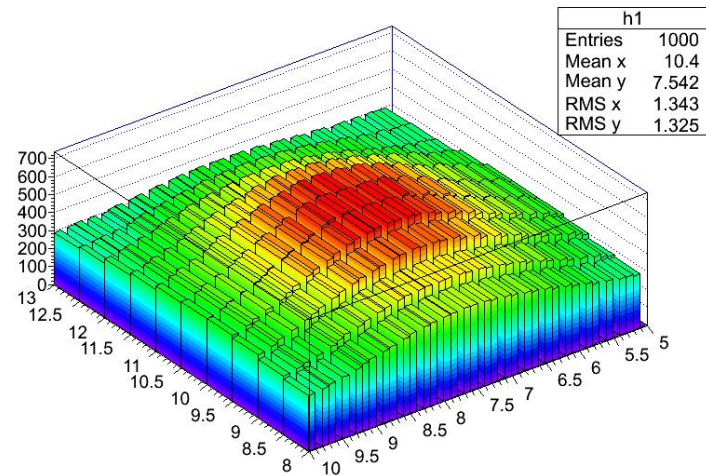
- 41分支光纤出光情况实验:



- ✓ 光纤发散角扫描:
Pmt与光纤距离==7.8cm



- ✓ 光纤光斑扫描: Pmt与光纤距离==7.8cm, 高度 0.5cm*10

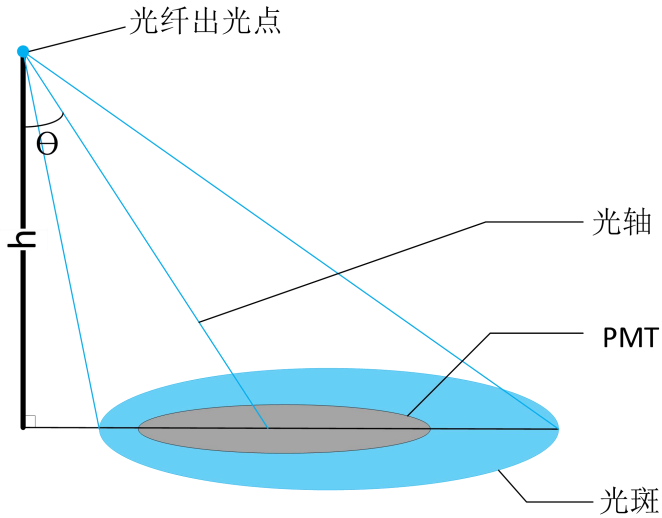


3 σ ~光斑占比99.7%~60°
2 σ ~光斑占比95.0%~42°
1.65 σ ~光斑占比90.0%~35°

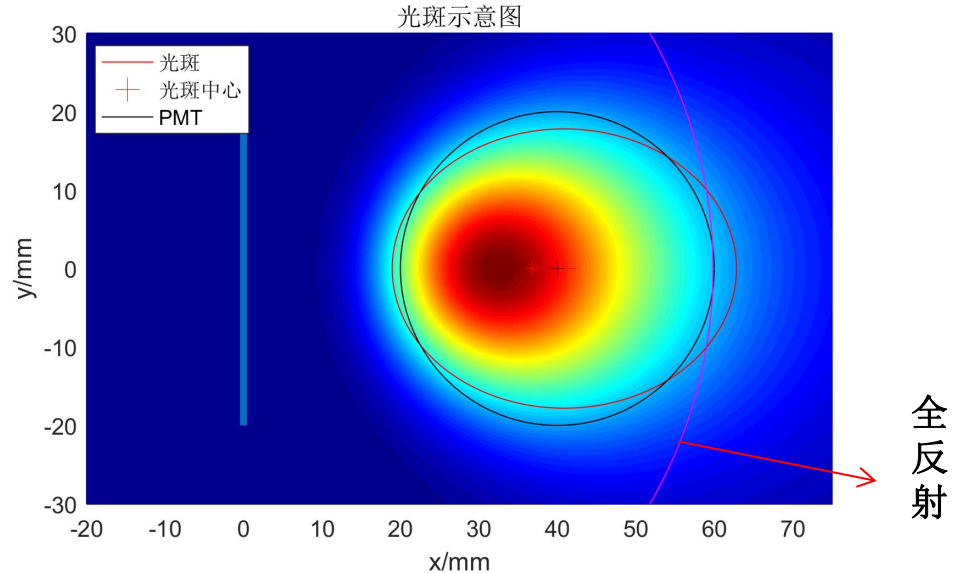
光纤光斑近似一个正圆

标定方案介绍

- 光纤支架固定（高度、角度优化）：



光纤固定点优化示意图



光纤固定模拟PMT平面上光强分布

光纤发散角30度，pmt :R=20mm, (考虑全反射)

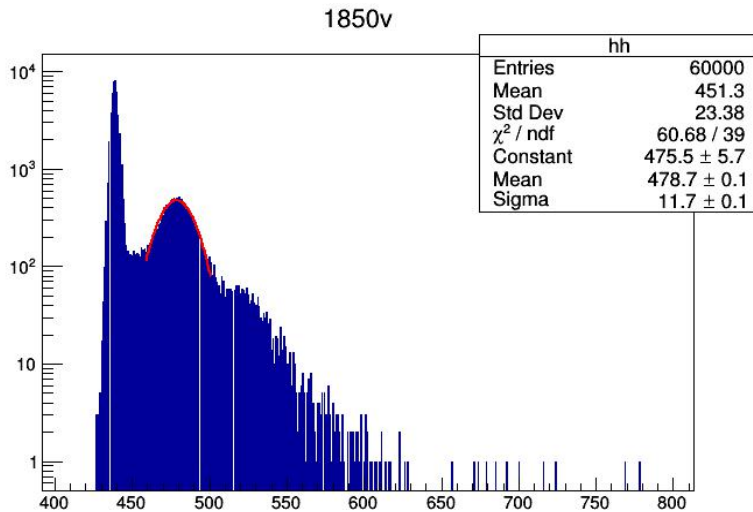
最高占比：97.4%；h：53.9mm； θ ：34.38°

实验室验证

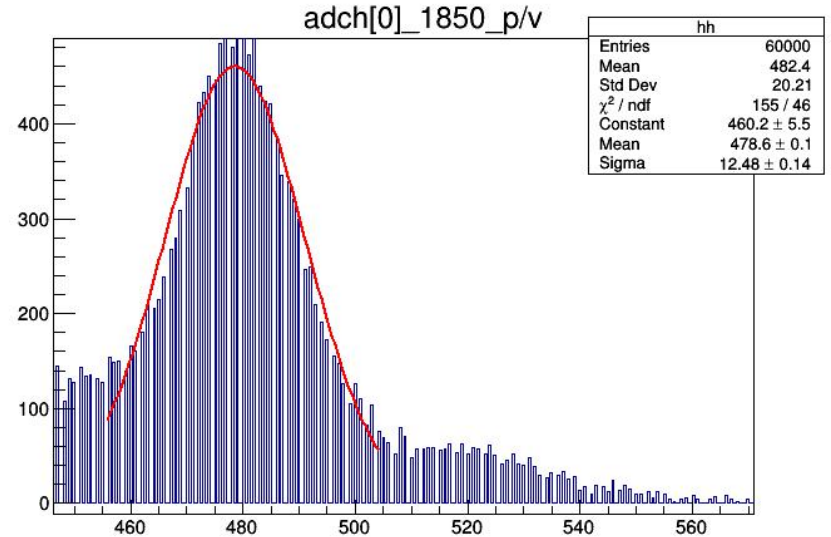
单光电子Spe谱:

QDC (v965) led :1.770V 4ns 5khz (脉冲发生器) H/Lcount==8

HV	1700v	1750v	1800v	1850v
Hcount	24	28.6	34.3	40.1
Lcount	3	3.575	4.288	5.013
Gain(e6)	3.745	4.463	5.353	6.258



单光电子峰(ped==438.6 sig==478.7)



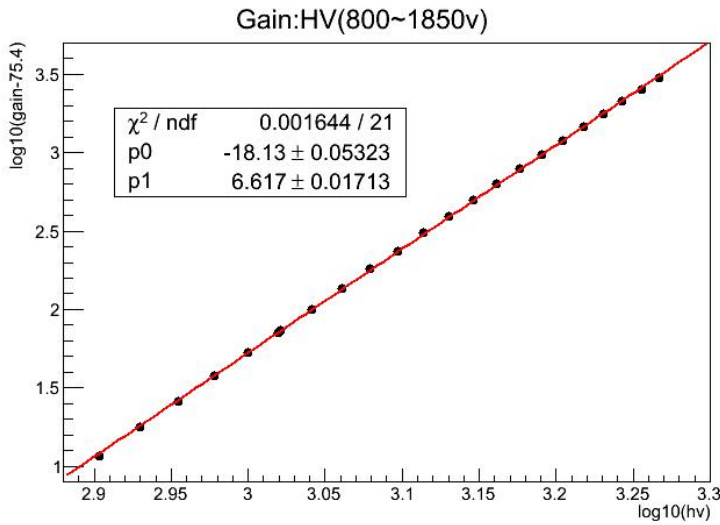
p/V==3.143 分布宽度==31.1%

实验室验证

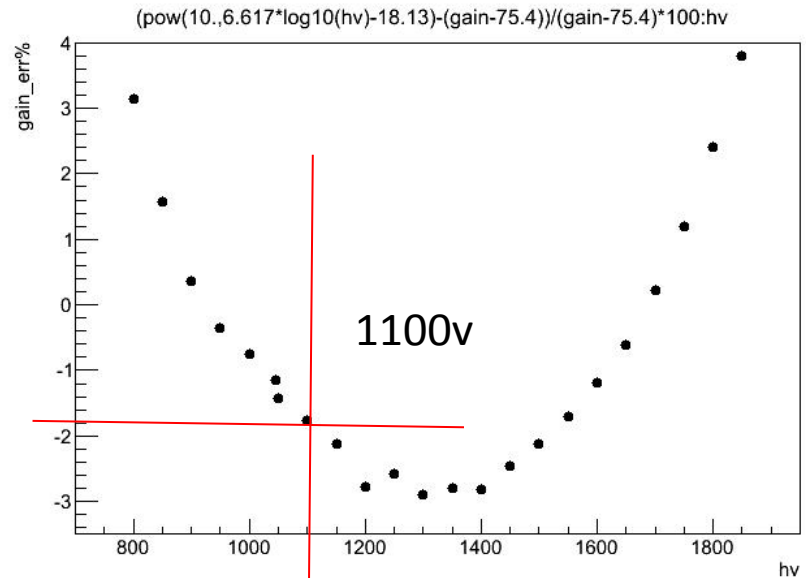
多光子标定Gain (800~1850v) :

QDC(v965) led控制板 (15ns_2.5v) ,光源系统 (5.7cd、分支1_2)

HV	1700v	1750v	1800v	1850v
Lcount	1757.6	2108.6	2510.6	2969.6
Lcount(spe)	3	3.575	4.288	5.013
PEs (588.4)	585.8	589.8	585.6	592.4
2E5	1091.6	1094.3	1095.3	1099.3



高压响应曲线 $\beta=6.617$

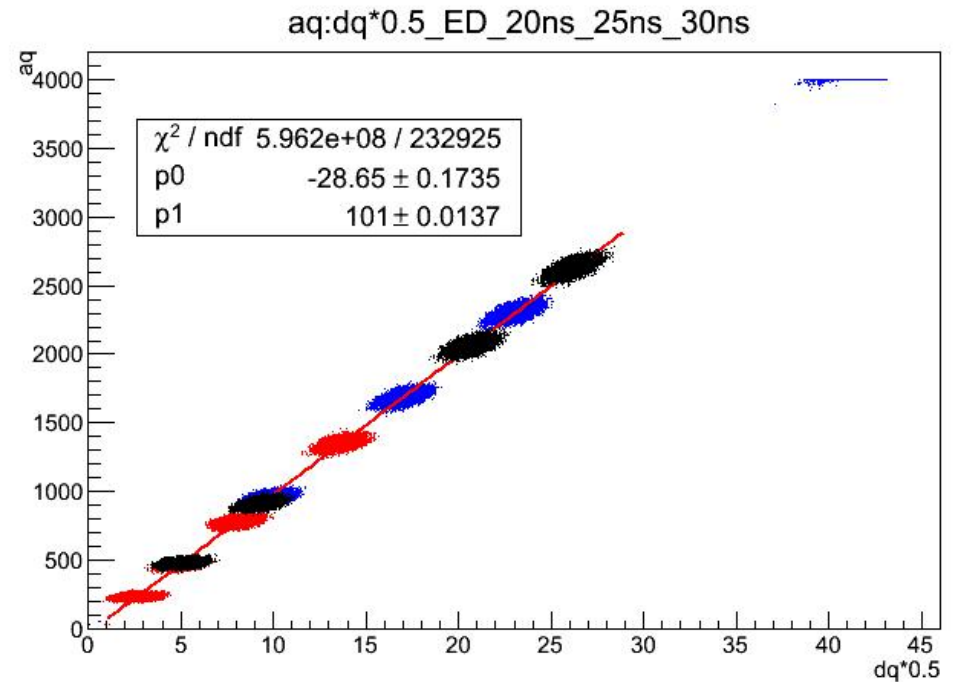
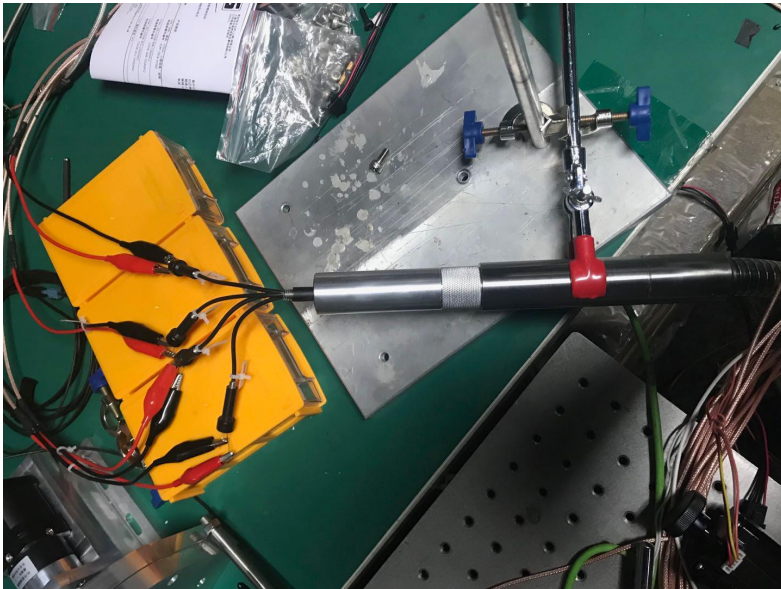


误差范围: -3%~4%

实验室验证

A/D的标定 (20ns、25ns、30ns) :

(ED电子学板, LED控制组 (依次递增同时点亮led), 光源系统 (5.7cd))



光源系统 (混光器+光筒+41分支)

不同脉宽: 20ns、25ns、30ns
A/D==101

总结：

- 针对100TeV ~ 10PeV宇宙线成分能谱的精确观测，提出了WCDA动态范围扩展系统
- WCDA++电荷标定采用LED光源组+光纤束分光的标定方案
- 目前在实验室搭建一套电荷标定的系统，实现了标定的流程，验证了方案的可行性

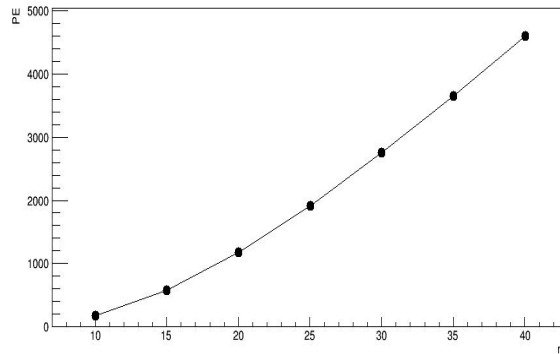
谢谢！

标定方案介绍

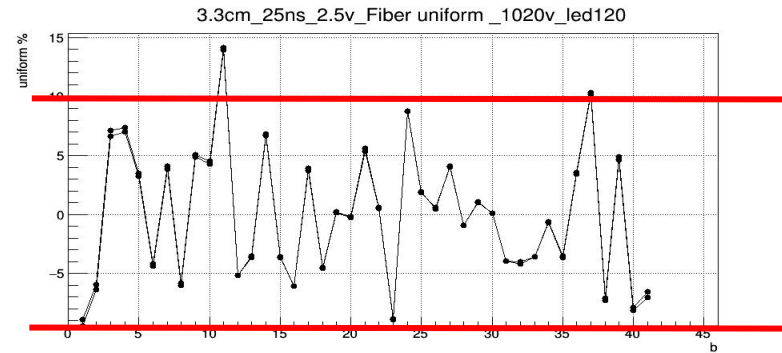
- 标定难点：
 - 工作增益的标定 (2×10^5)
 - 动态标定 (spe, 高压响应 $1 \times 10^5 \rightarrow 1 \times 10^7$) ;
 - 阳极打拿极增益比的标定 (**1000~4000PEs**)
 - LED光源组 (大光强 (led、width, 光筒长度), 同步@465nm) ;



8分支混光器



光筒长12.4cm,3.3v,不同脉宽下的输出光子数



光筒==3.3cm 满足±10%<36根

- 标定方案的工作模式：
 - 长期监测 (\sim Hz, \sim 100PEs, 标定相对增益的变化) ;
 - 定期标定工作增益 (年度, 单光电子标定(硬件)) ;

标定系统硬件平台介绍

- 光源系统（1000pe--4000pe）

- ✓ led选型 (光强、寿命)

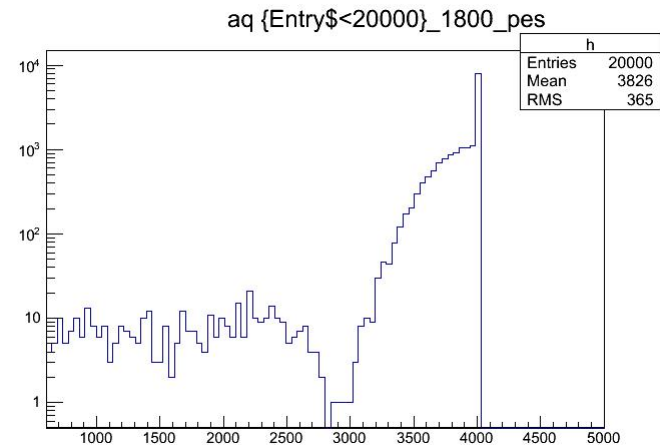
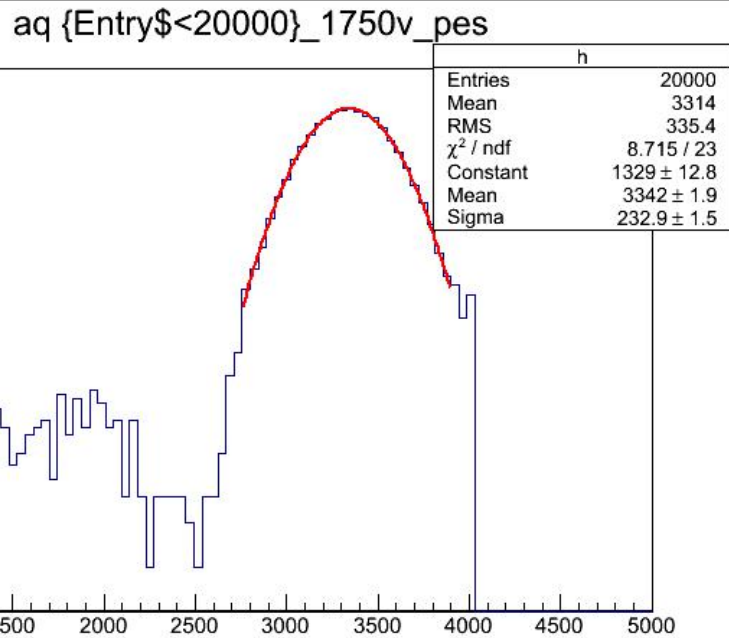
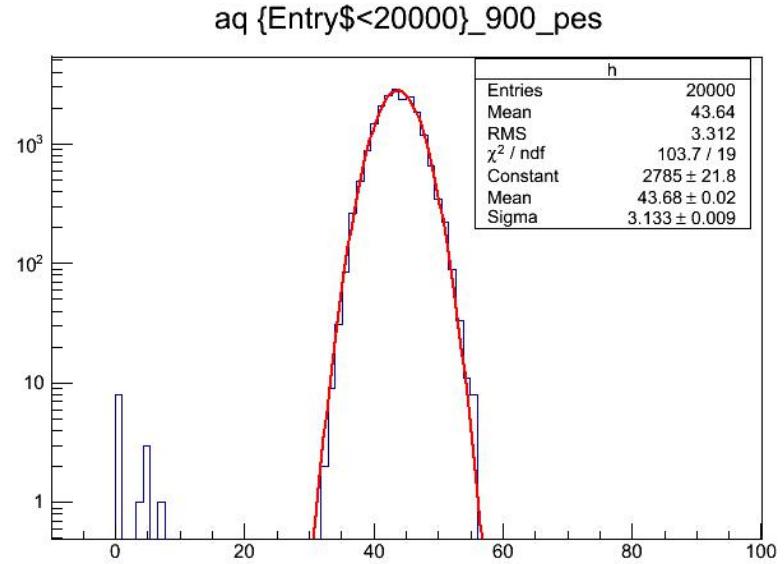
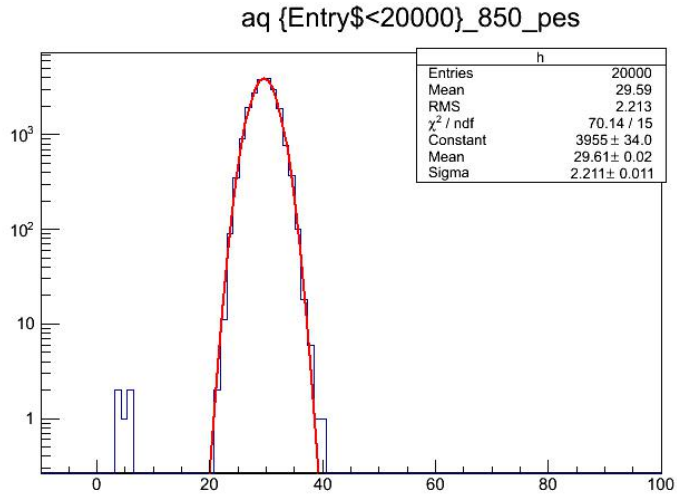
(Broadcom 蓝色 LED

HLMP-CB2A-VW0DD, 5.7 cd, 3.2 V)



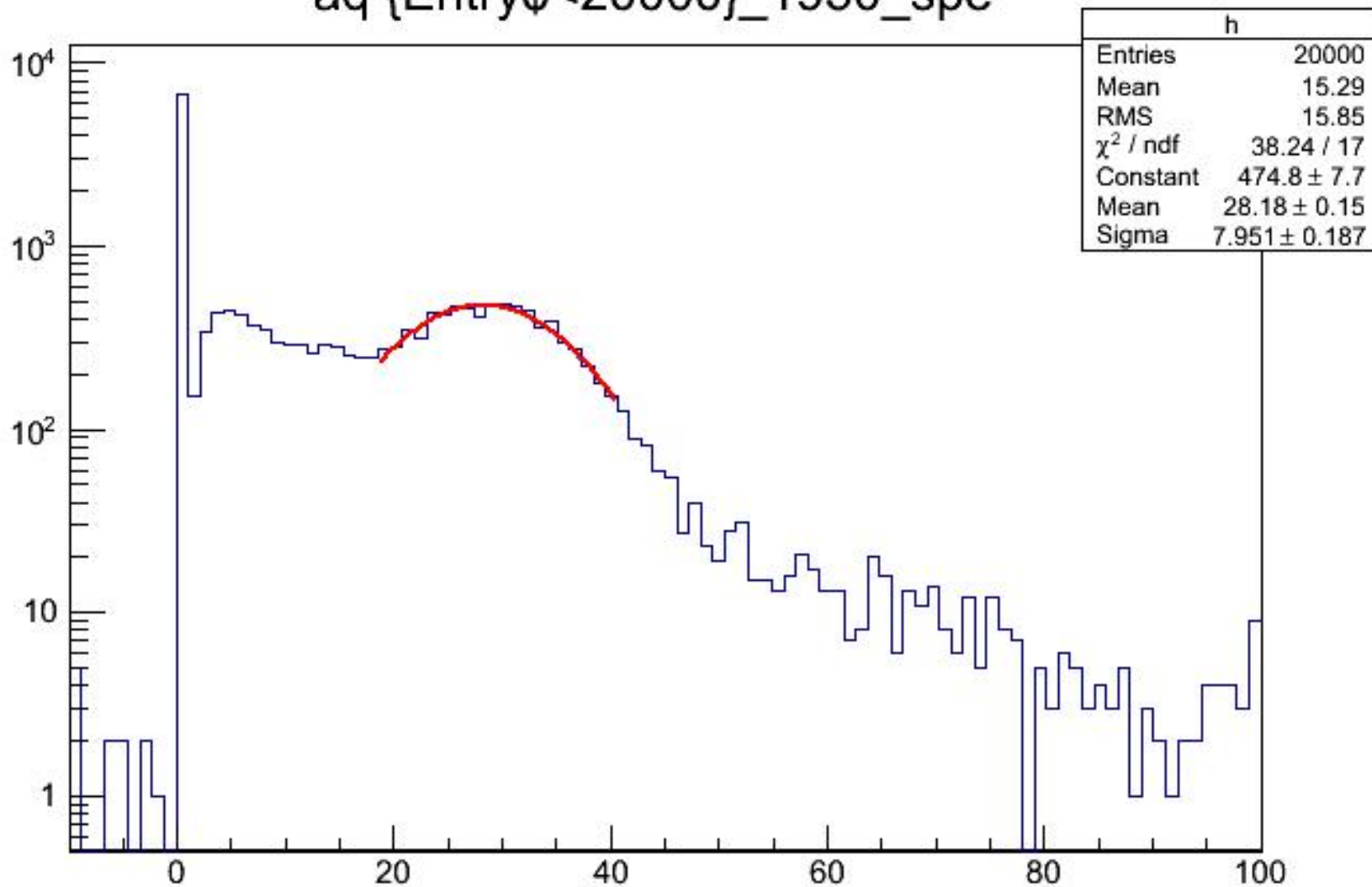
- ✓ led耦合器件（固定，标准化）

pes:15ns+led3 850~1950(1750)

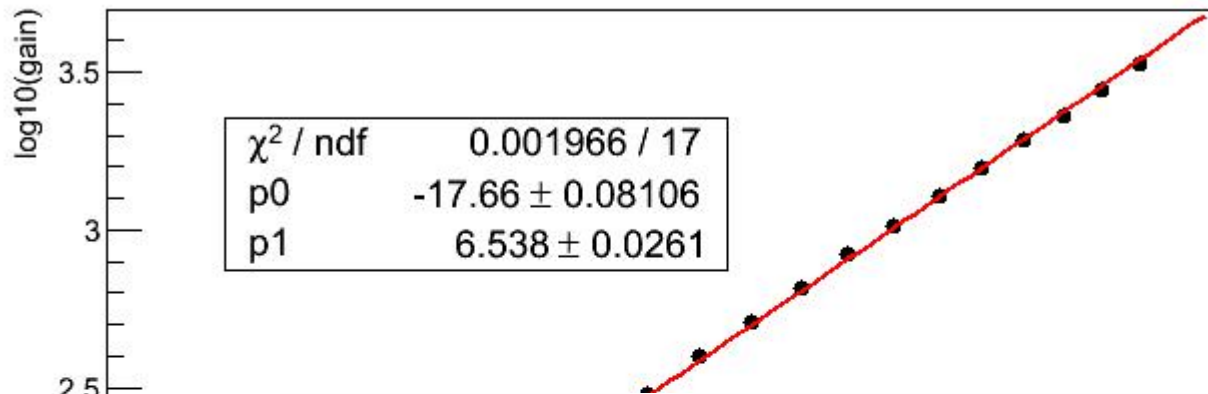


Spe ED 1700~1950v 1KHZ
1.232v 10ns 閾値2mV (062)

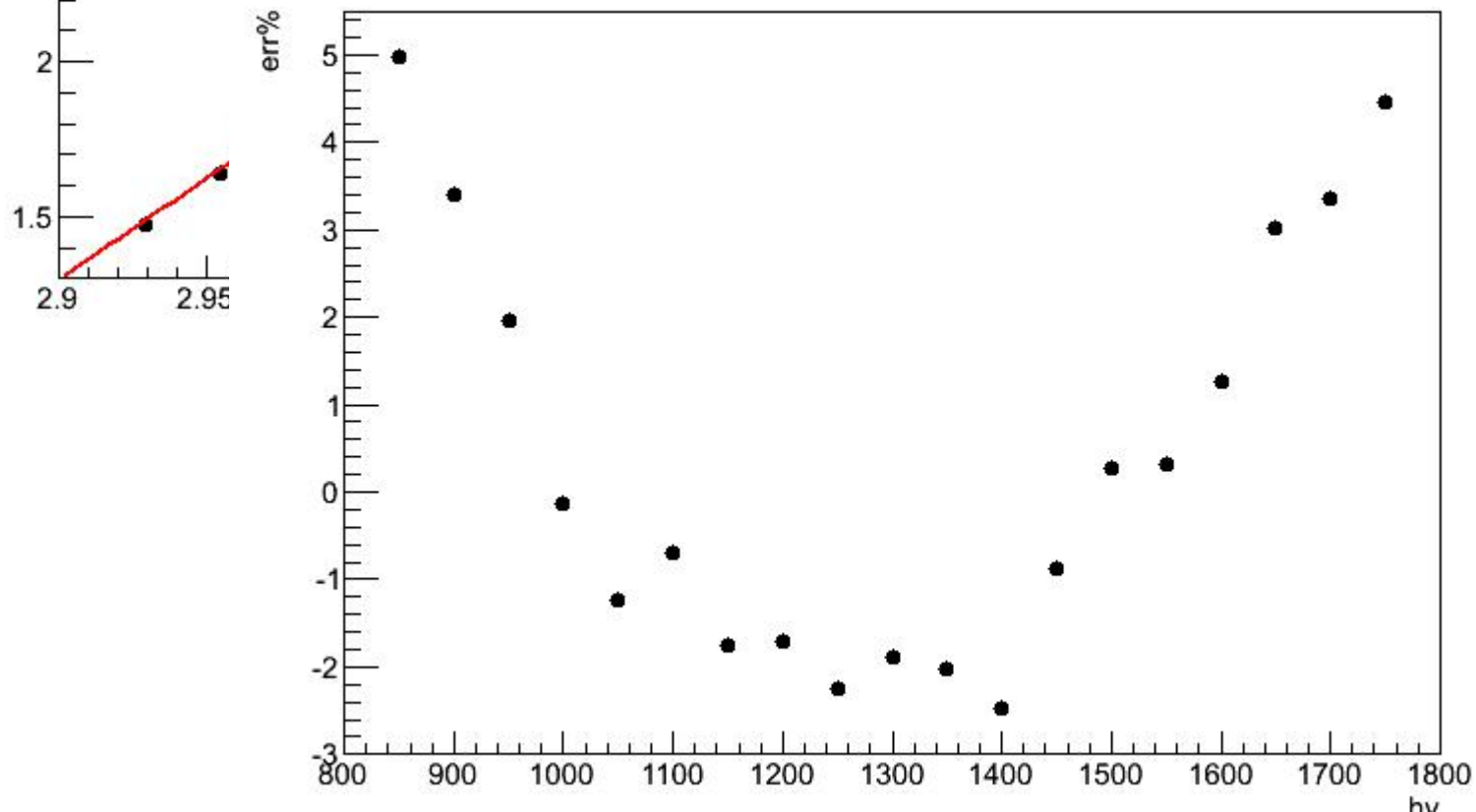
aq {Entry\$<20000}_1950_spe



log10(gain):log10(hv)_ed_850~1750v



(pow(10.,6.538*log10(hv)-17.66)-gain)/gain*100: hv



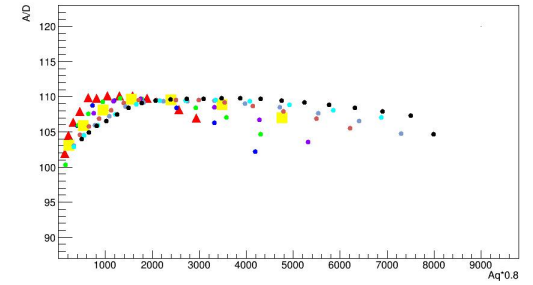
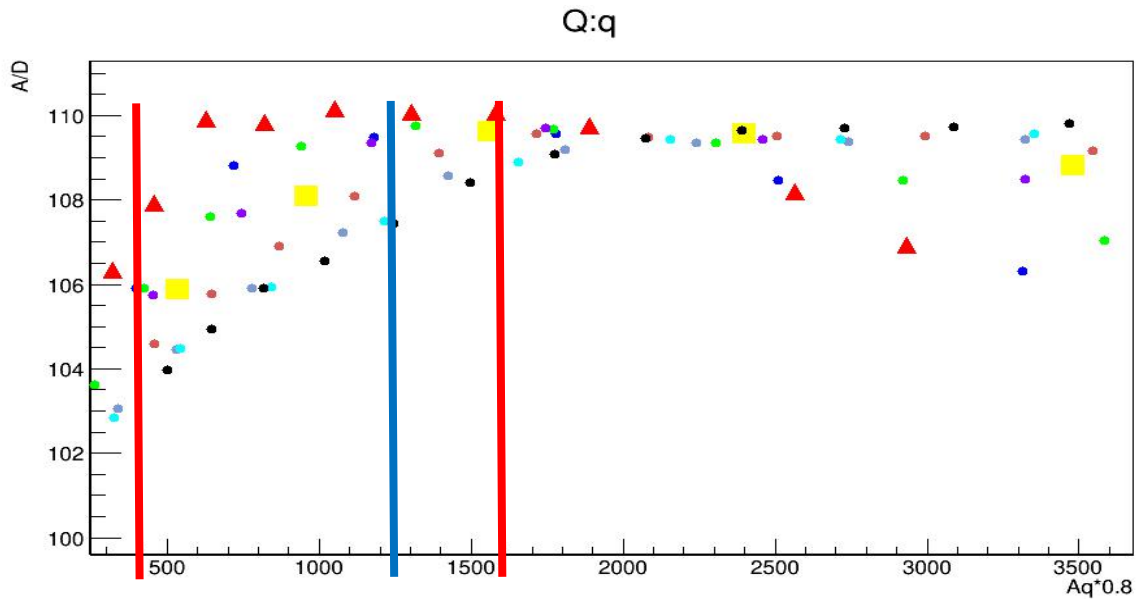
- 目前用，整套测spe,没有遮蔽宇宙线中的噪声，背景中的spe 太多，配置spe 不易！

90216 1020V 2E5 QDC

2.5V_25ns,7.3cm

	9.6cd	12cd(30)	23.5cd(15)	5.7cd(23)	16.8(15)	120°	120 (换分支)	120(无混光器)	120 (混光, 线缆皮)
	209.4	209.5	209.5	209.4	209.5	209.5			
	271.8	335	345	377.5	280	279	216	600	302
PES	394	787	850	1000PEs	438	437	31	2444	580

- 1、LED应直接与分支对，LED不是点光源
- 2、5.7cd和23.5cd 的最亮，但光电子数严重不够
- 3、换光纤后，排除分支的原因，不加混光器，得到混光器光损~5倍,20%

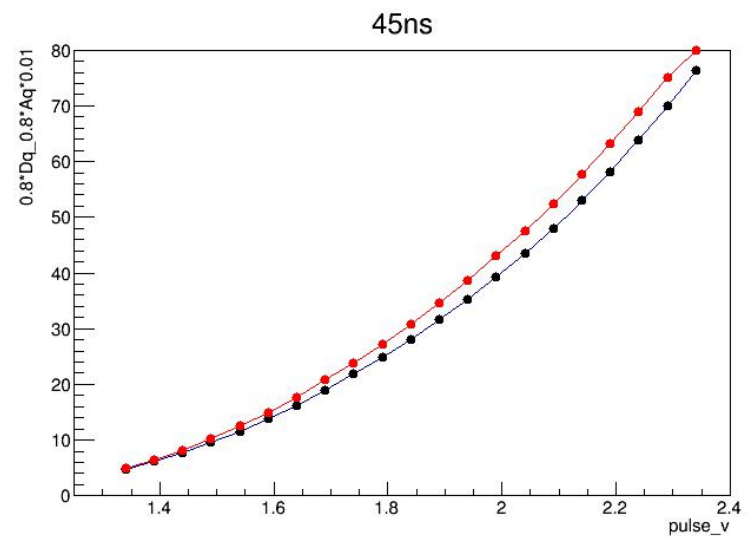
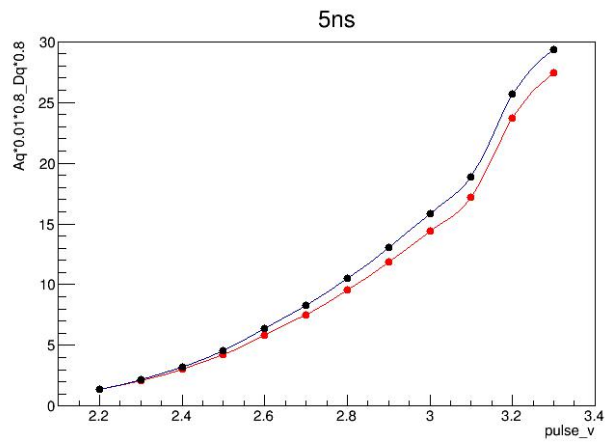
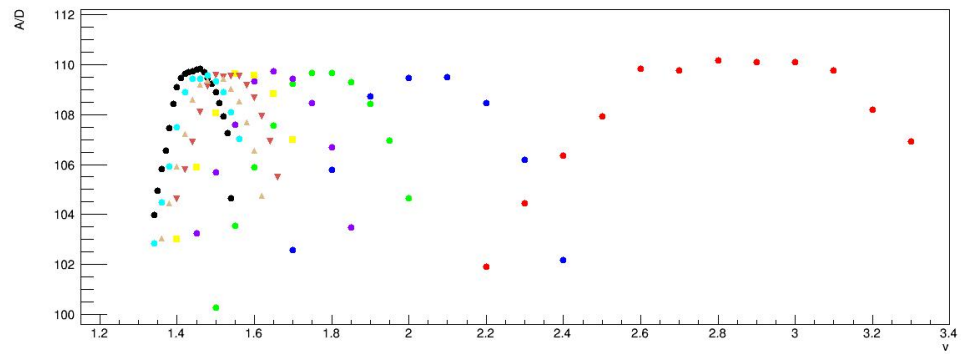


先前指标:

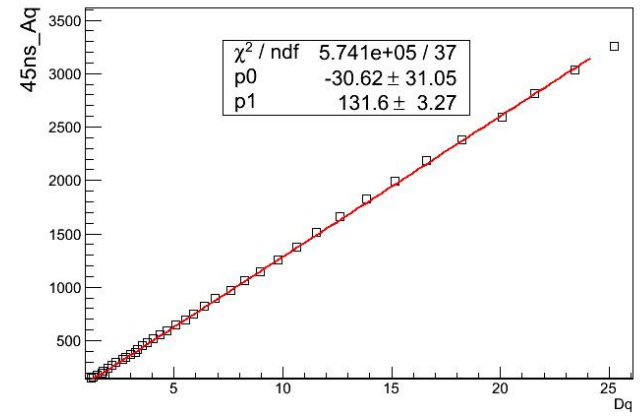
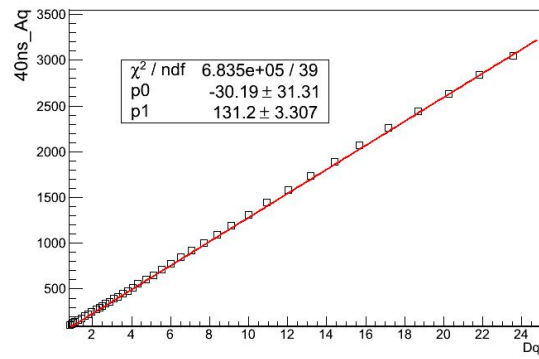
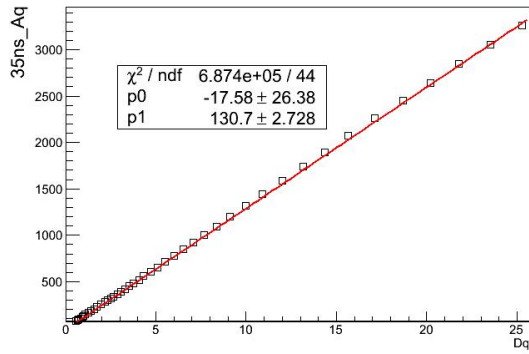
2500~10000
->400~1600道

电子学限制: 1250道

800~3200
->5000~20000

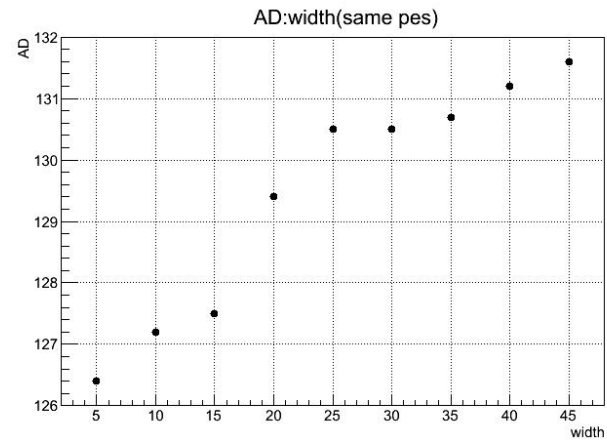
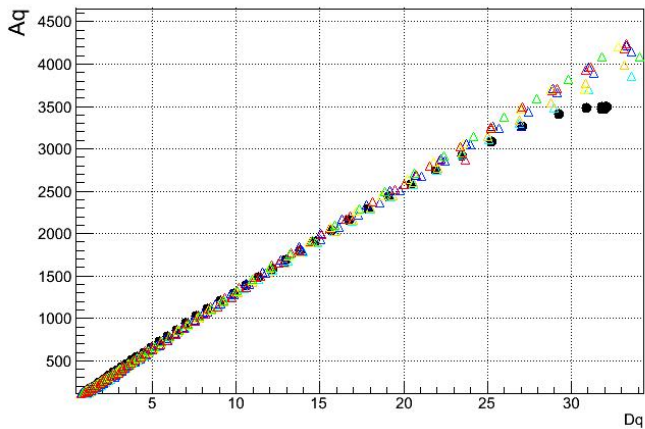


各脉宽交叠取拟合 (Aq<3000,Dq<30)



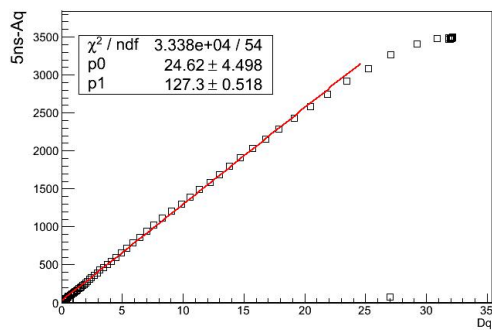
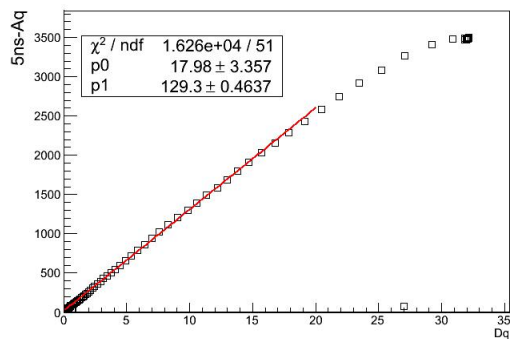
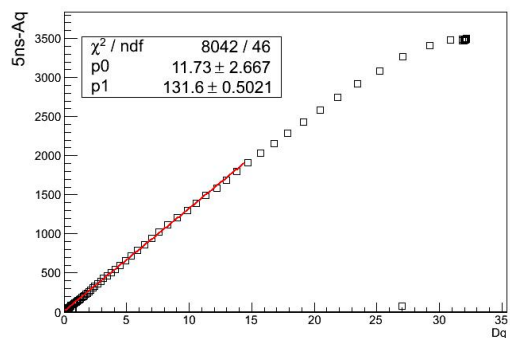
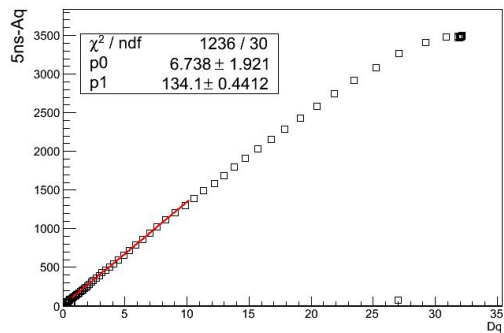
Width(n s)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
A/D(<25 道)	126. 4	127.2	127.5	129.4	130.5	130.5	130.7	131.2	131.6

Width(n s)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
A/D(<25道)	126.4	127.2	127.5	129.4	130.5	130.5	130.7	131.2	131.6
A/D(全)	126.9		127.1		126.4		127.1		126.3



不同脉宽，各自线性区内，width对A/D的影响不超过1%
 不同脉宽，overlap 区内，width对A/D的影响约为4%，随脉宽变大A/D正飘

正飘解释:



正飘解释:

