

WCDA动态范围扩展系统模拟进展

李秀荣

高能物理研究所

2018/3/23

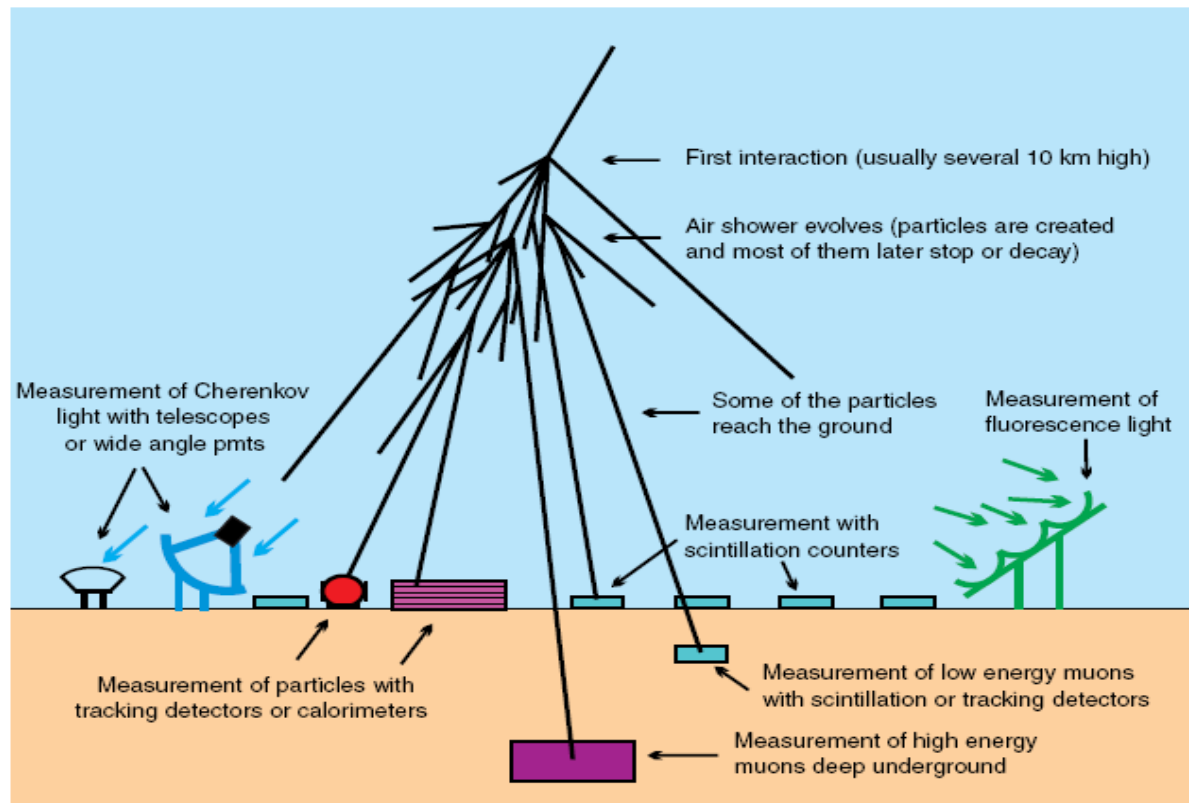
LHAASO合作组会—四川峨眉山西南交大

Outline

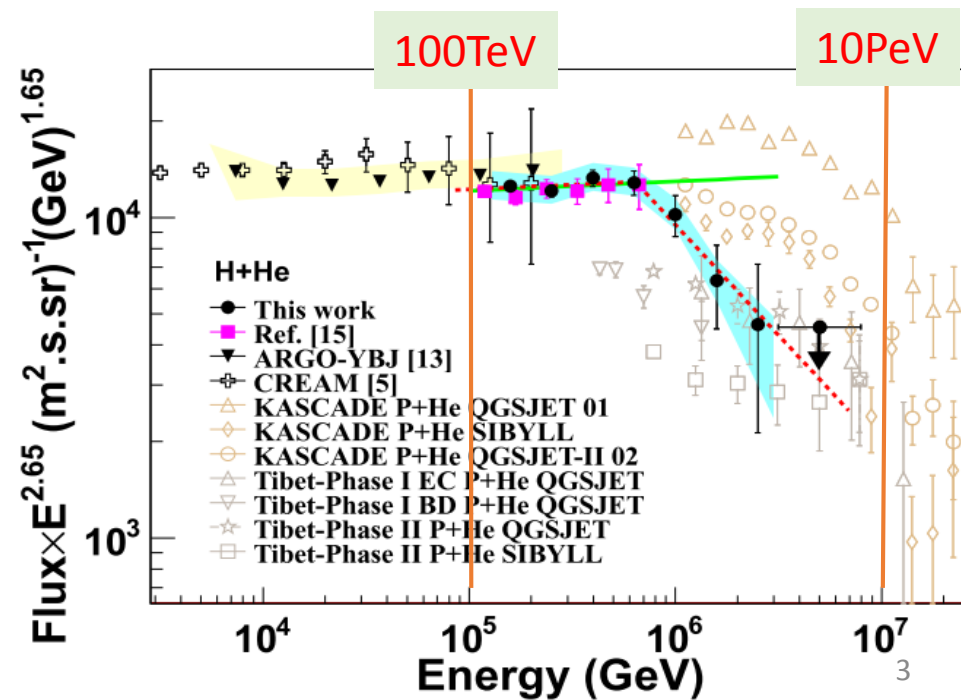
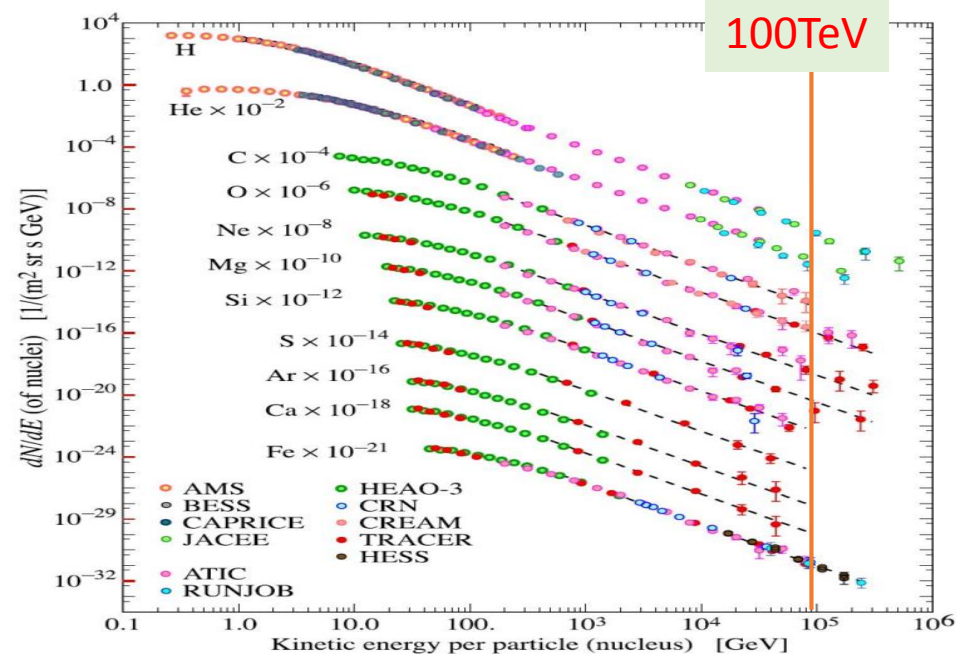
- 1. 系统介绍
- 2. 探测器Geant4模拟框架
- 3. 快速化模拟方案及速度
- 4. 小PMT模拟方法
- 5. 宇宙线信号及芯位重建研究

LHAASO宇宙线能谱测量

LHAASO将利用WFCTA+缪子探测器+WCDA联合进行成分宇宙线能谱测量

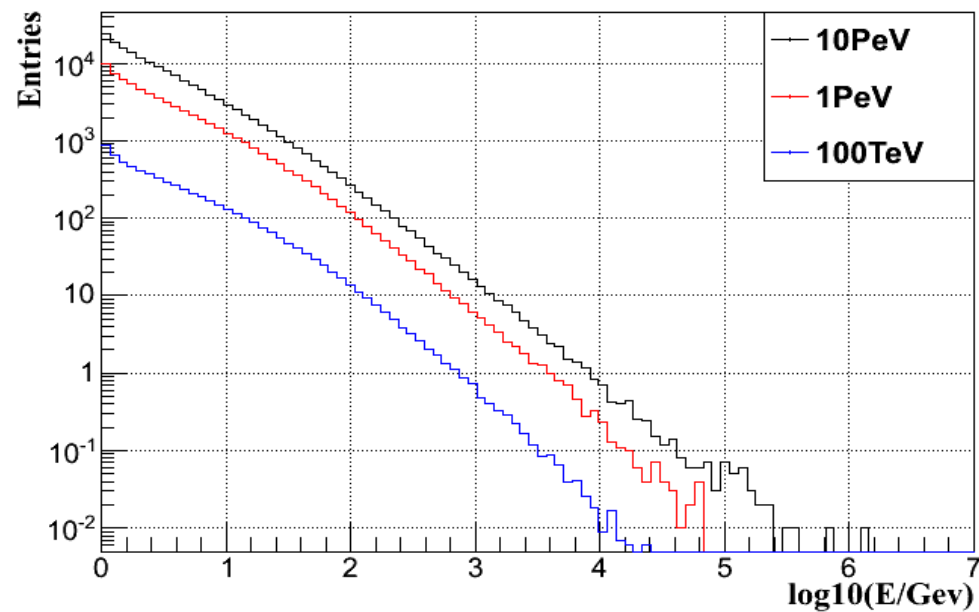
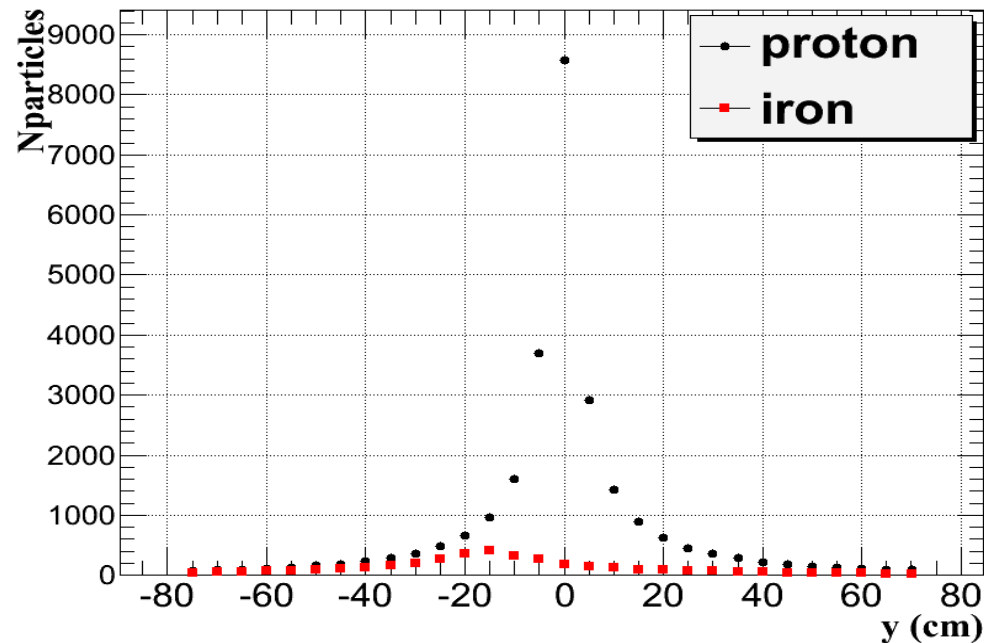
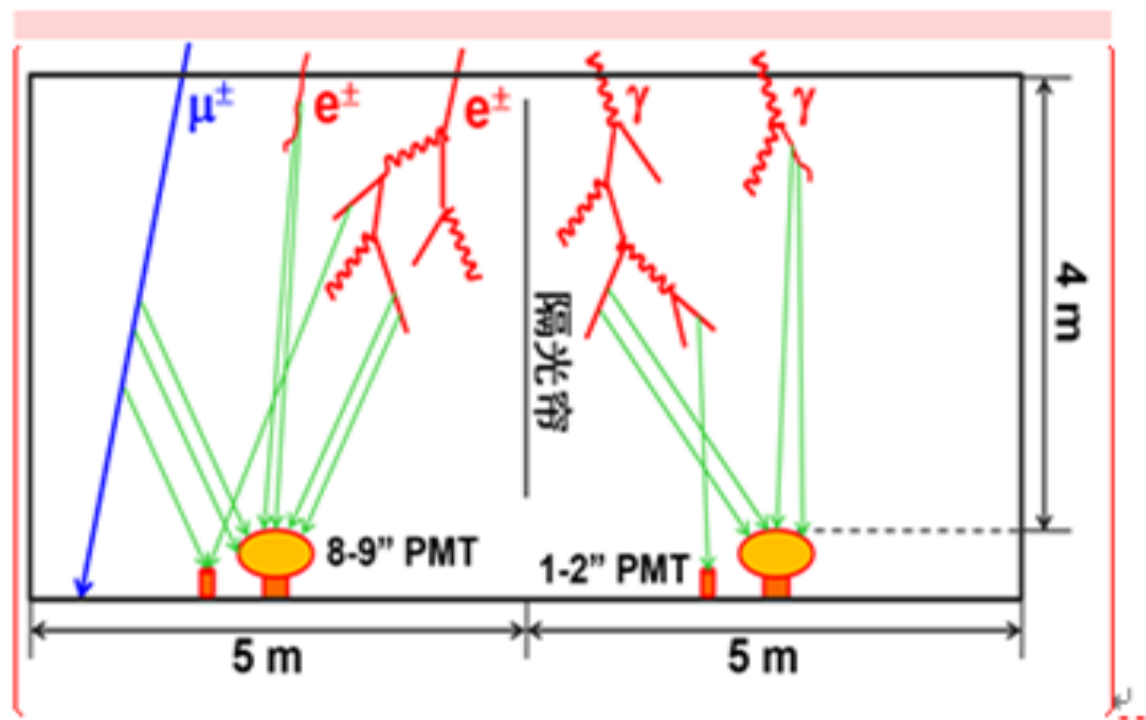


WCDA++: 100TeV-10 PeV, 重建宇宙线簇射芯位, 联合进行粒子鉴别



WCDA动态范围扩展系统

一个水池900个单元，每个单元5m*5m，4米有效水深，中间用隔光帘隔开。
每个单元一个8英寸PMT，一个1英寸PMT



探测器模拟框架及使用

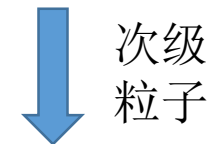
WCDA++模拟： WCDA大阵列模拟程序第一步程序光子hit流输出的程序。在每个探测器加一个大PMT和一个1小PMT。值传递的方式存储每个事例每个PMT的光电子数且和第一个光子到达时间。

批量运行时可控参数：

- 输入**： corsika直接输入， corsika次级粒子root文件， 单粒子入射信息
- 输出**： 光子hit信息， 每个次级粒子产生的信号， 所有次级粒子产生的总和信号：
每个PMT的NPE和第一个光子到达时间， 重心法芯位重建结果， 运行时间
- 粒子入射信息**： corsika芯位， 次级粒子能量角度位置等
- 探测器设置**： 大小PMT尺寸位置结构量子效率等、隔光帘尺寸
- 探测器设置**： 光子薄化因子， 是否参数化及参数化方法

每个参数有默认设置， 模拟时可以修改成不同值同时批量运行

Corsika模拟宇宙线在大气中的簇射，得到次级粒子信息



Geant4模拟次级粒子在WCDA中的响应，得到每个PMT的光电子数和时间

电磁粒子运行时间分析

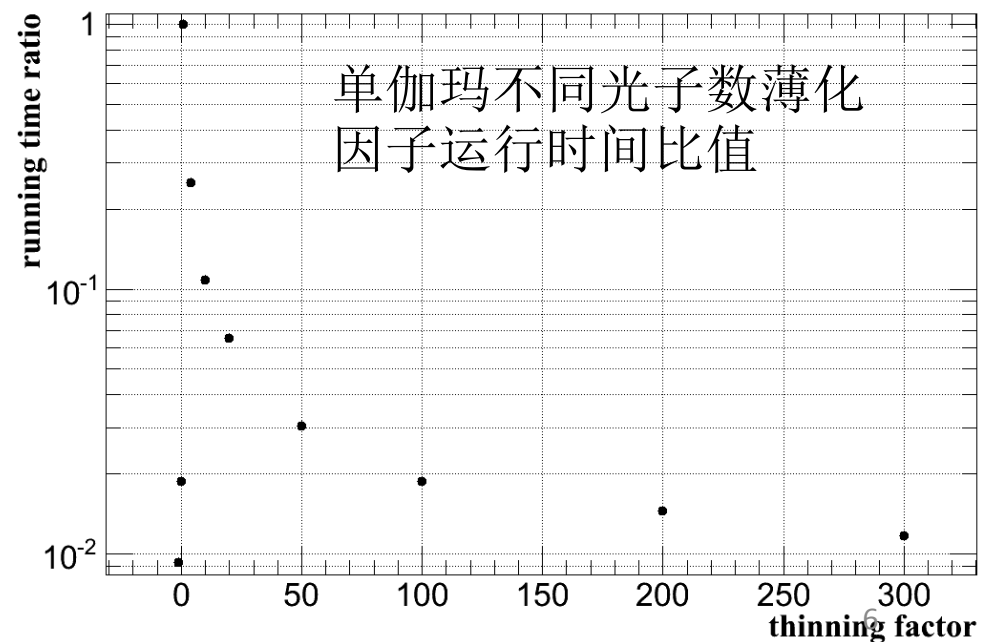
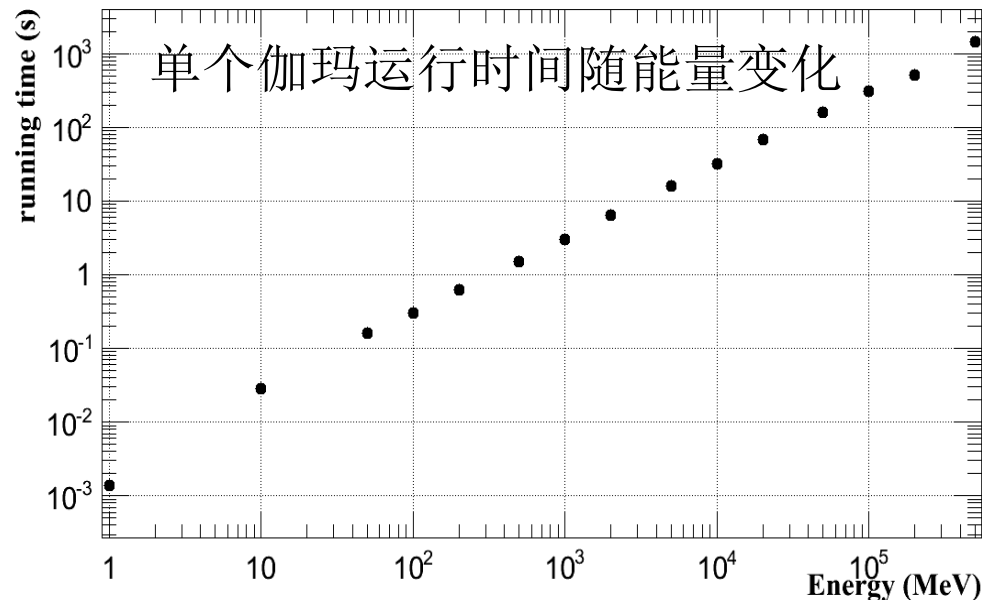
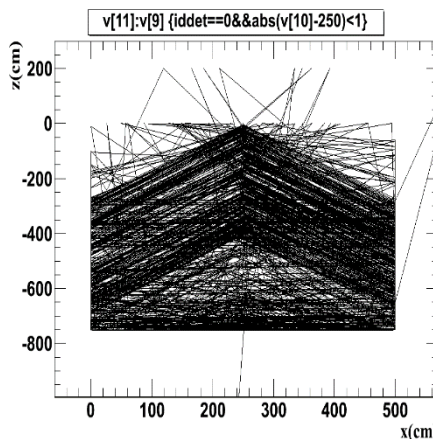
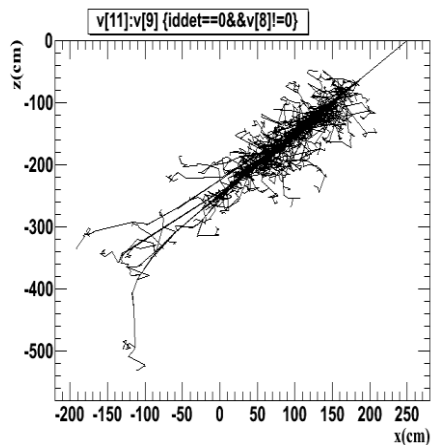
gamma在水中相
互作用过程

```
(new G4GammaConversion());  
(new G4ComptonScattering());  
(new G4RayleighScattering());  
(new G4PhotoElectricEffect());
```

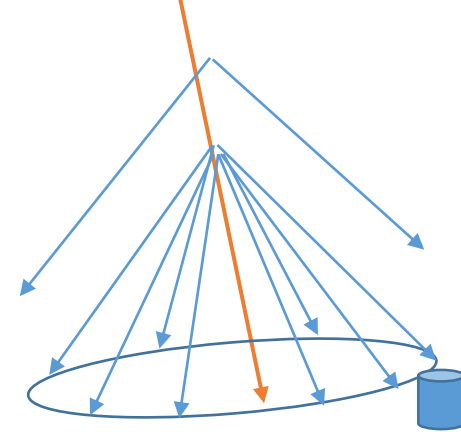
切伦科夫光模拟：
高能带电粒子在水中每个step约
1cm，约产生300个光子。

电磁粒子在水中模拟时间占比：
相互作用过程：约1%时间
光子+PMT模拟：约99%时间

传统光子数薄化法：将每个step
产生的光子随机抽样模拟部分光子，
将结果乘以权重因子



快速模拟--优化的光子数薄化方法



- 优化后的光子数薄化法:

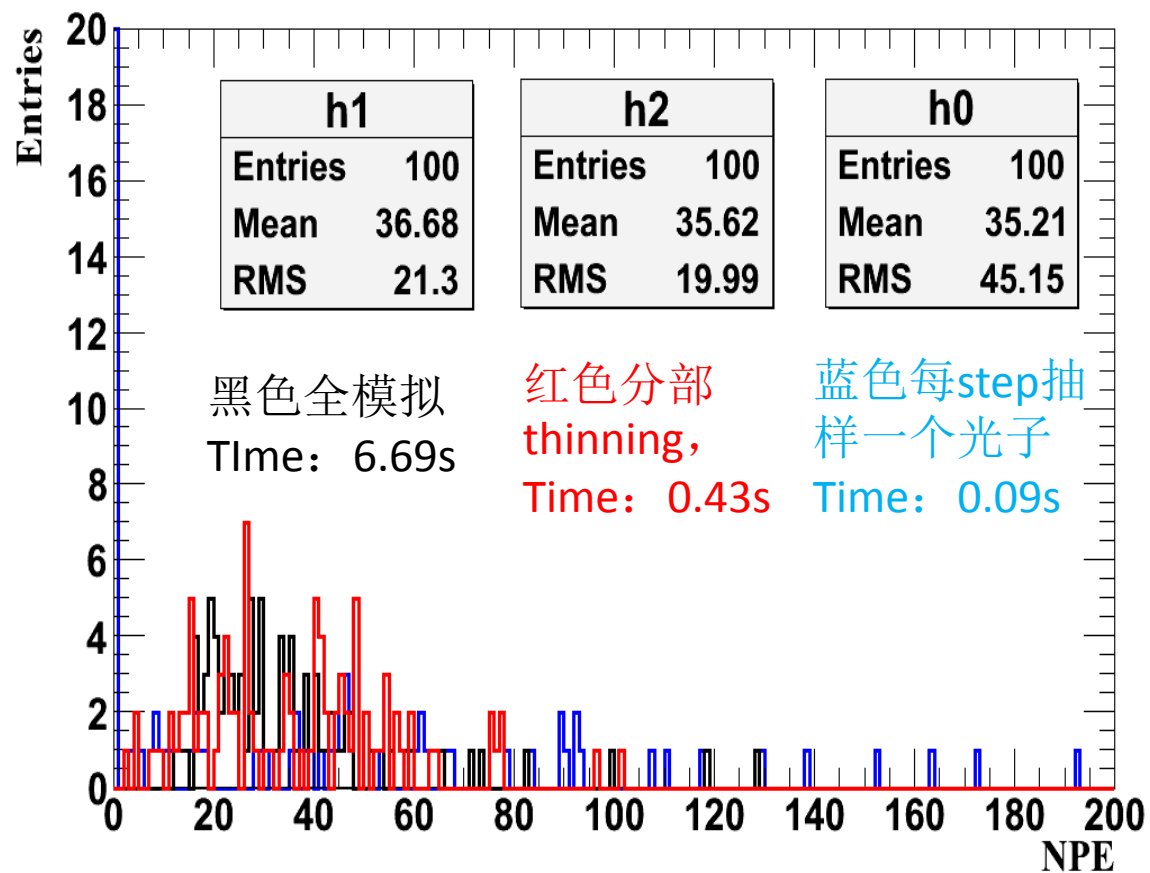
先判断每个step产生的切伦科夫光环是否有打在PMT上的,

(1) 若没有, 则将这一step所有光子设置较大的薄化因子进行抽样模拟;

(2) 若有打在PMT上的, 打在PMT上的光子全模拟, 其余设置为较大薄化因子

- 节省时间 (提速十倍以上), 又避免过度 thinning 造成的NPE谱形畸变

- 根据粒子能量和次级粒子统计量以及光电子数大小调节 thinning 因子和方法



快速模拟—参数化模拟方法

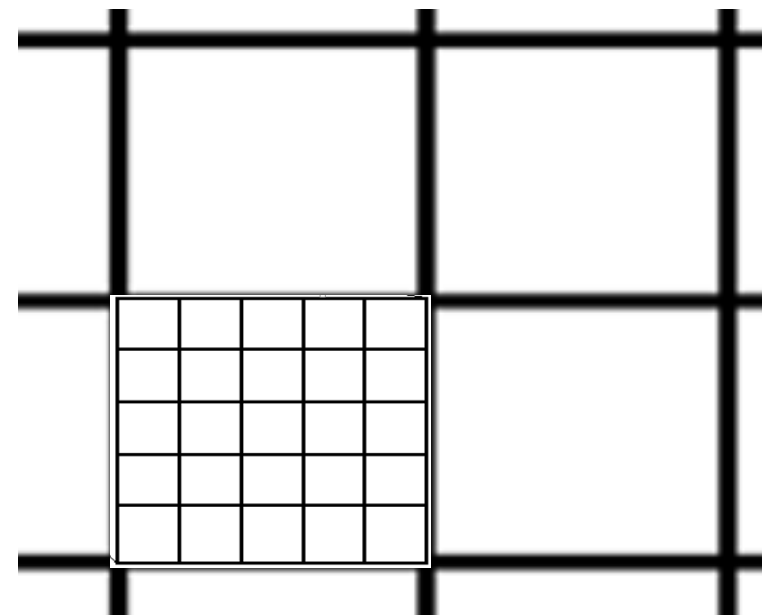
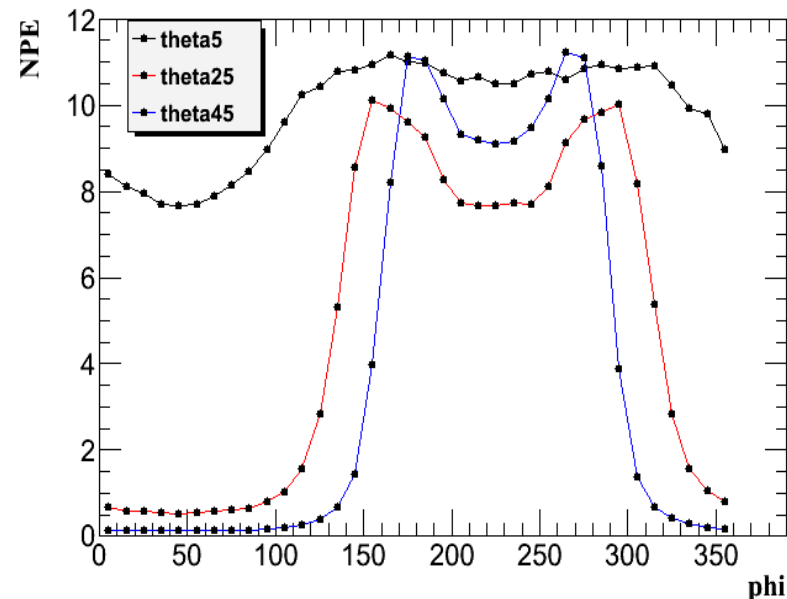
Geant4参数化模拟

存参数：提前根据电磁粒子入射位置角度能量分bin模拟存储光电子数结果（NPE直方图或平均值）；

读参数：程序接口判读电磁粒子调用存储的模拟参数，其它粒子全模拟。

参数分bin方法：

- 位置：中心5m*5m单元探测器上分5*5个格；分别存49个探测器上有信号的结果；调用时根据位置平移，按bin调用计算附近49个探测器的结果
- Theta：0到90度，10度一个bin；按bin调用
- Phi：0到360度，10度一个bin；按bin调用
- 能量：1MeV，10MeV，100MeV，500MeV，1GeV，5GeV，50GeV；差值调用



参数化模拟

- 直方图参数化存储**内存解决**:

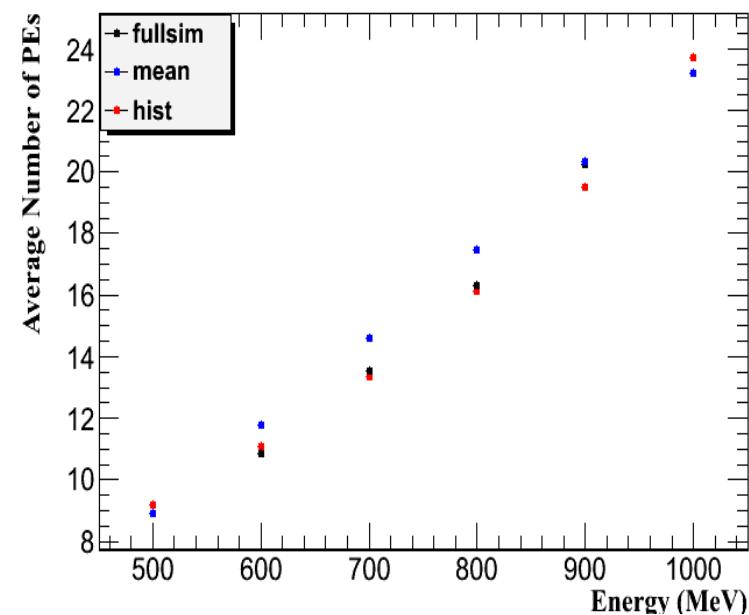
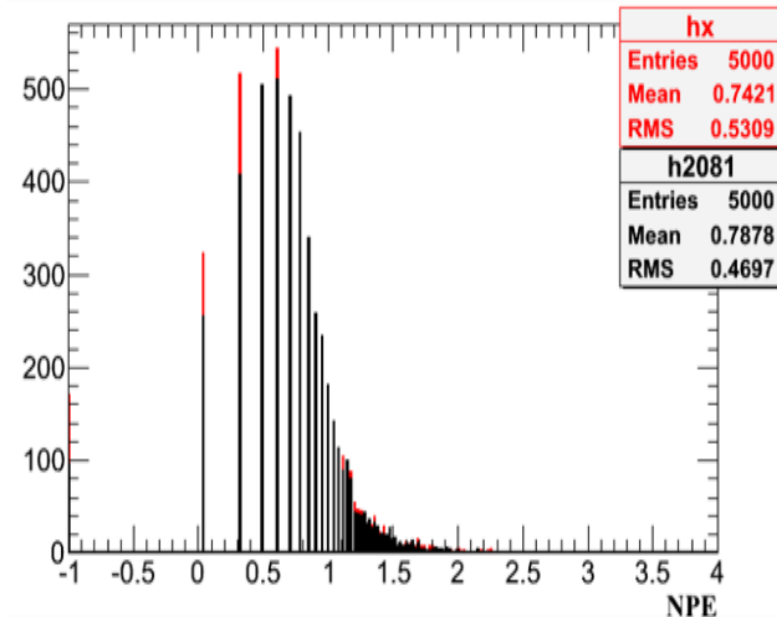
只存储粒子入射点周围49个探测器中光电子数大于0的直方图;

参数调用时, 若参数存储有相应直方图指针但内存没有才重新调用, 已调用过的不用重复写内存。

```
e10_xpos250_ypos250_theta5_phi355.root  
h6;1 log10(evt_npei98[6]+1)  
h8;1 log10(evt_npei98[8]+1)
```

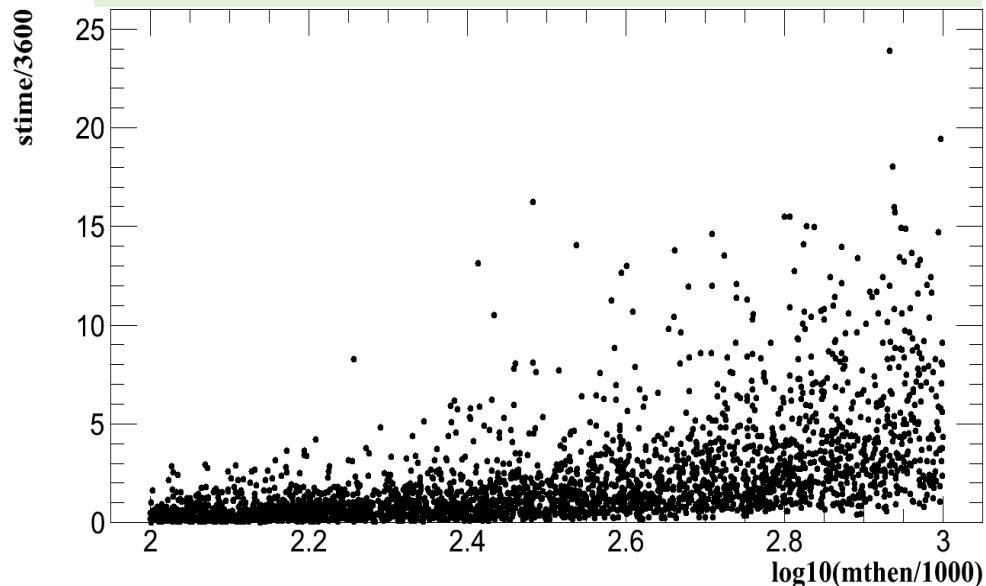
7	0.2			0.1	0.1	0.3
6		0.3	0.2	1	1.5	
5	0.1	0.1	39.8	18.6	0.3	0.1
4	0.1	0.2	53.9	1.3	0.2	
3		0.5	0.2	0.3	0.1	
2						0.1
1						

实现了无内存问题的**mean**值参数化和直方图参数化。
实现了单粒子参数化与全模拟**NPE**谱形分布的一致。

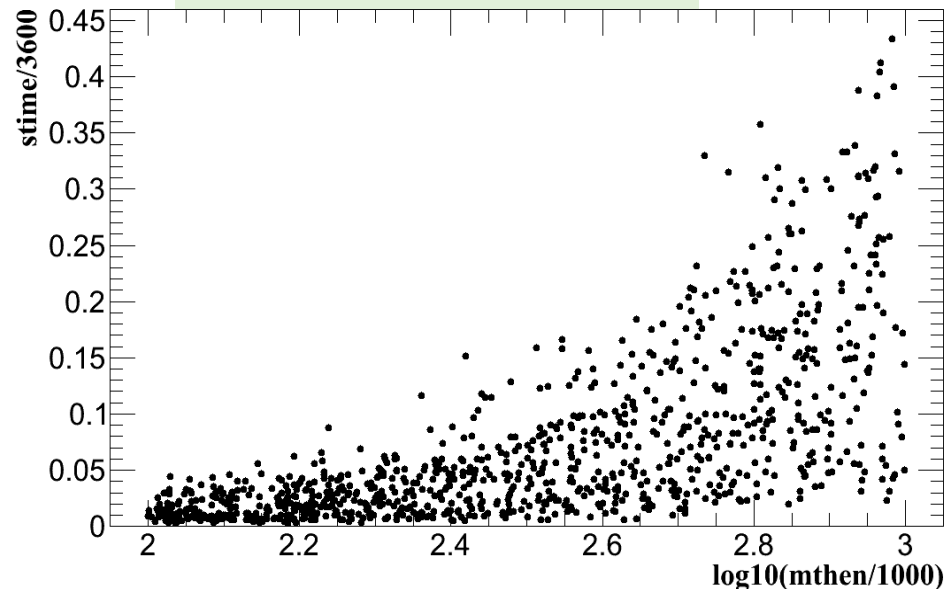


参数化模拟宇宙线事例运行时间

电磁粒子直方图参数化+缪子强子全模拟

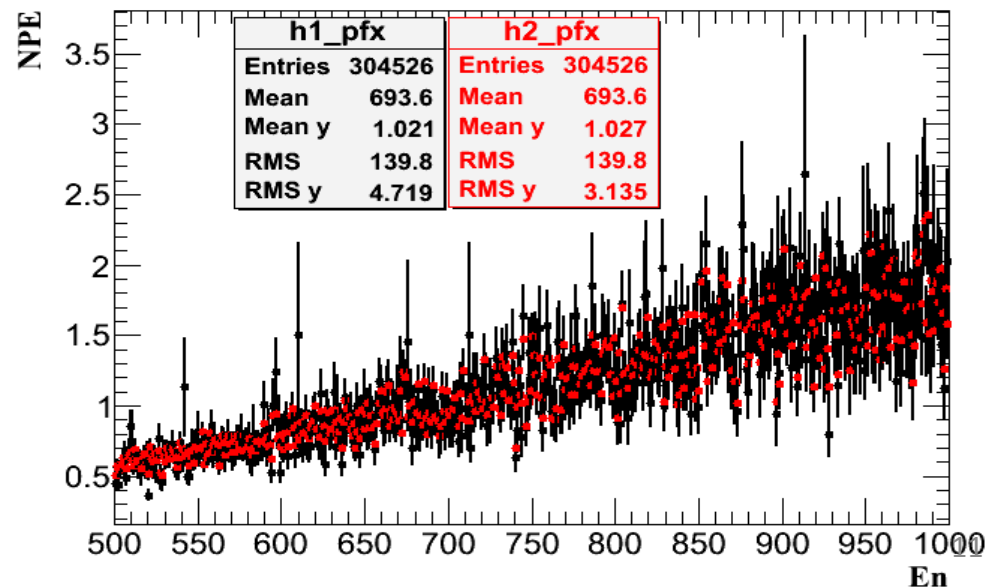


电磁粒子直方图参数化

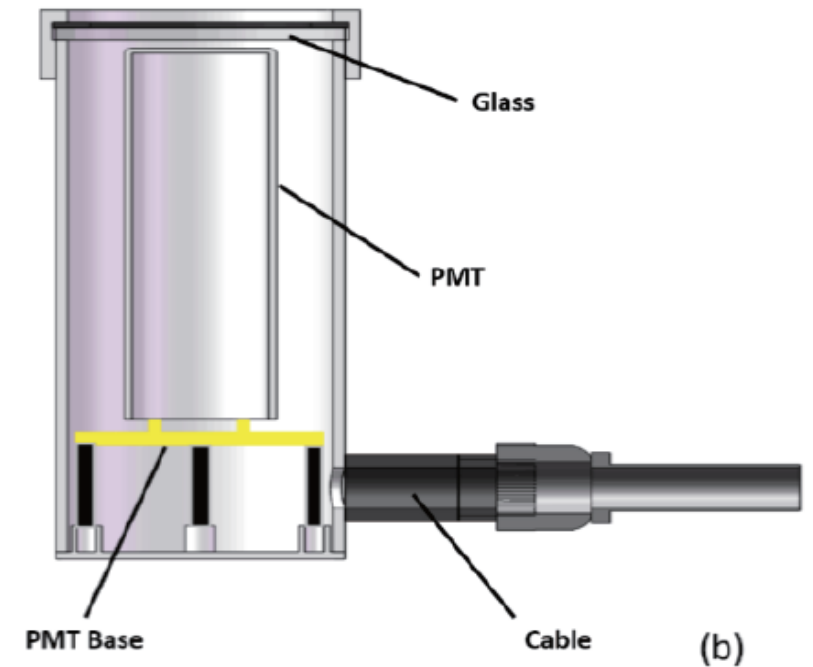
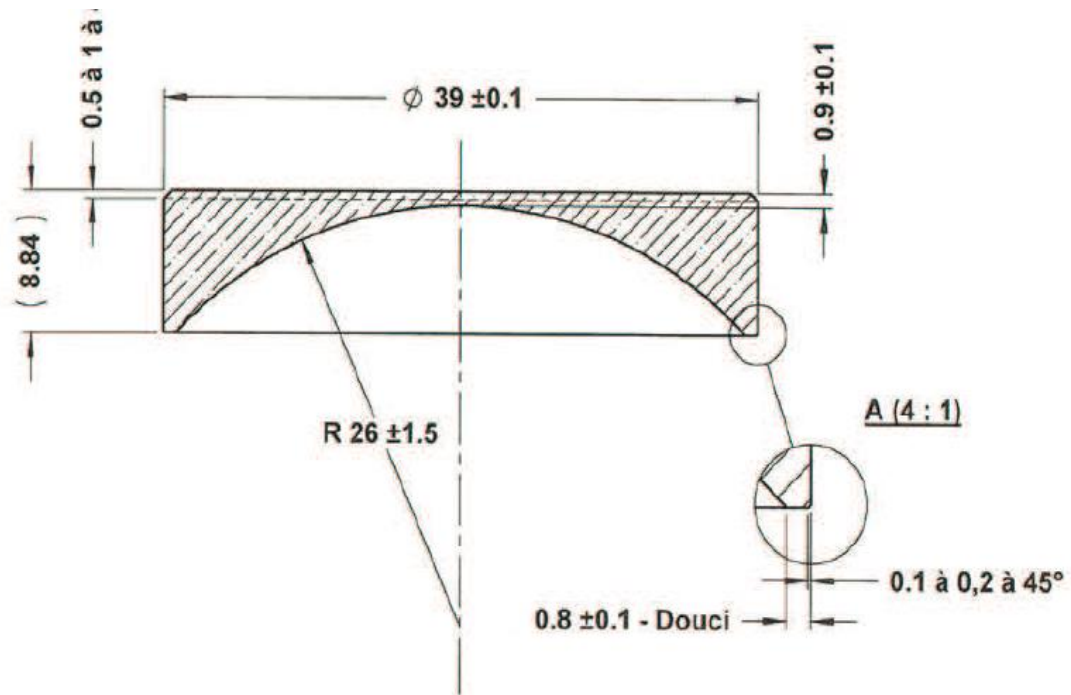


对宇宙线corsika事例，电磁粒子直方图参数化+其它粒子全模拟，100TeV不到0.2小时，1PeV平均7个小时；其中电磁粒子参数化模拟时间占了不到20%。

结合参数化模拟和优化后的光子数薄化方法，可以满足模拟速度的要求且模拟结果反应真实的NPE分布。



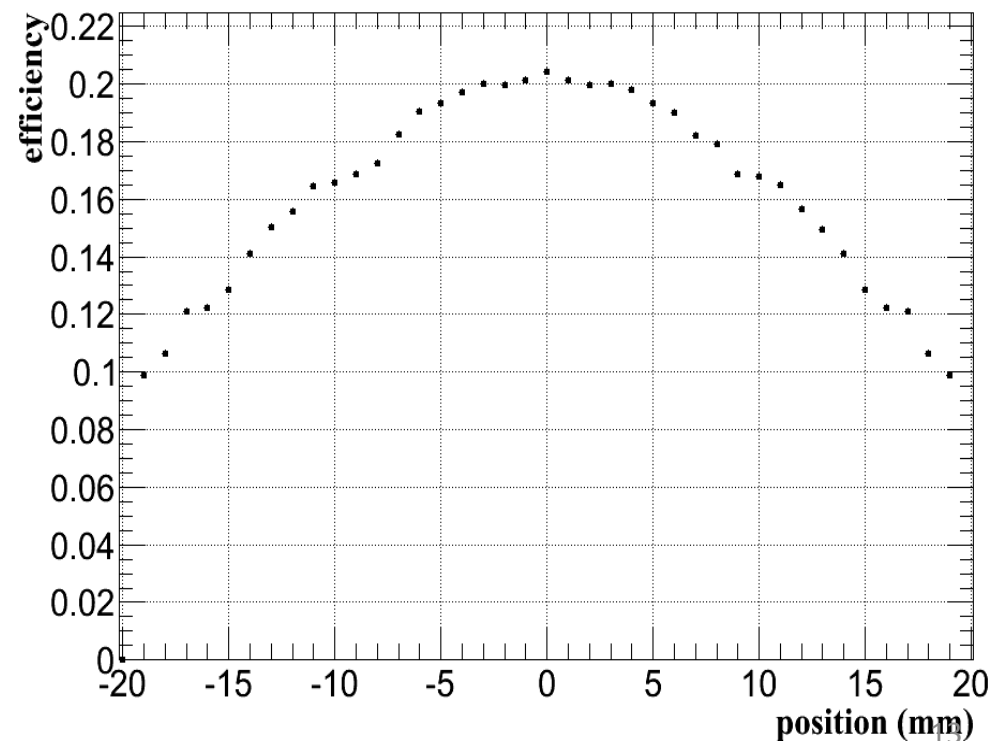
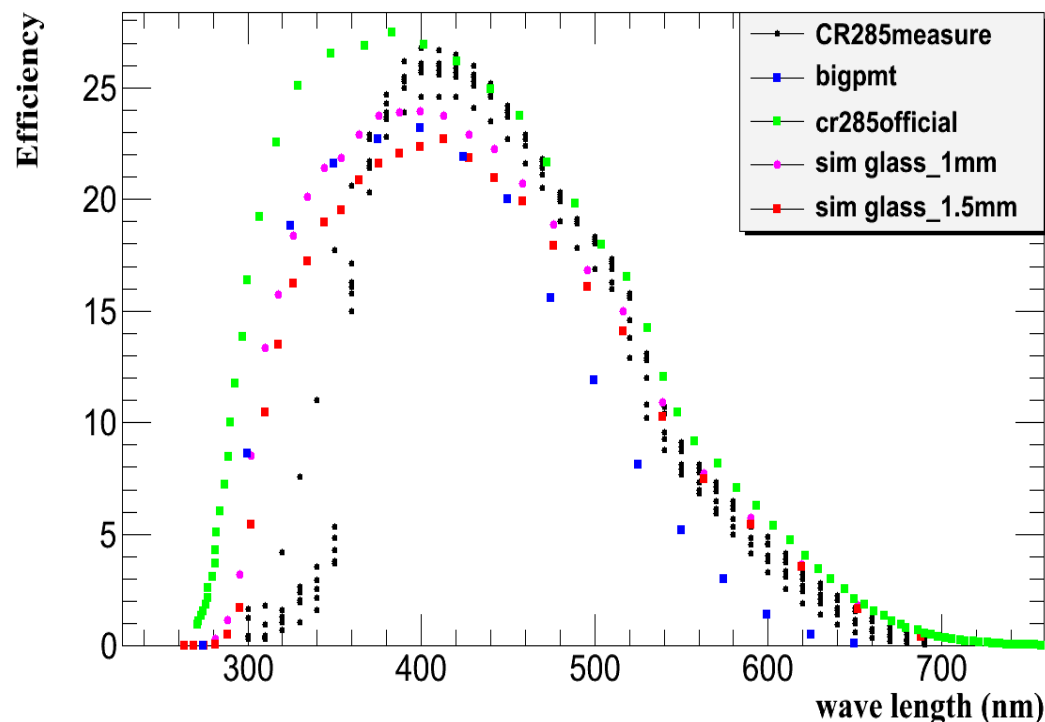
小PMT模拟方法研究



小PMT模拟方案研究

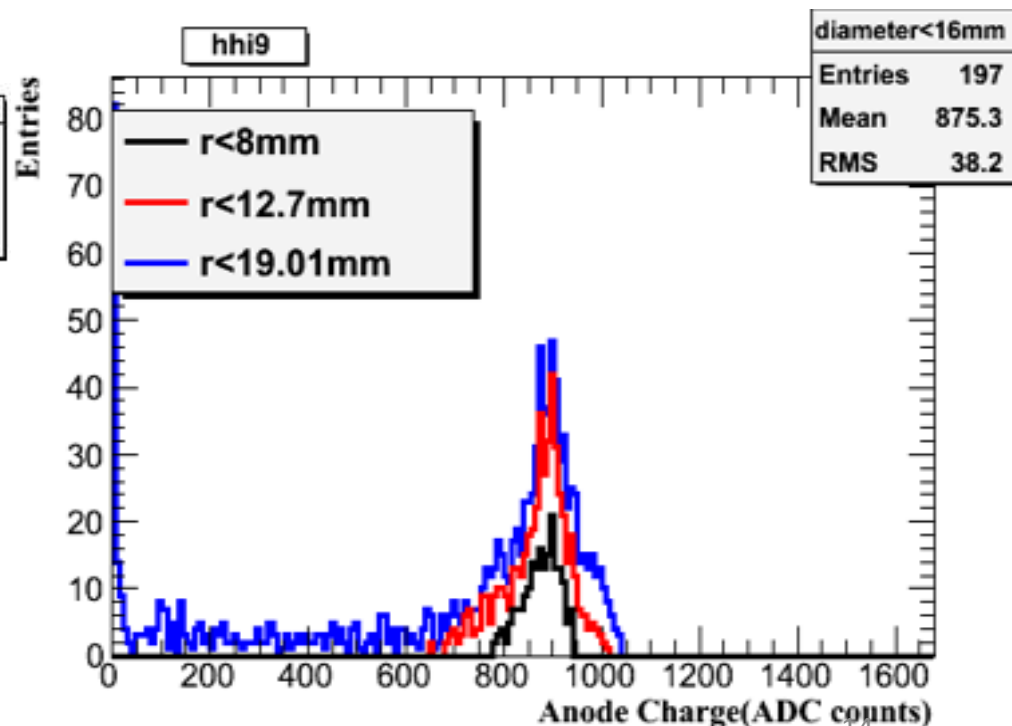
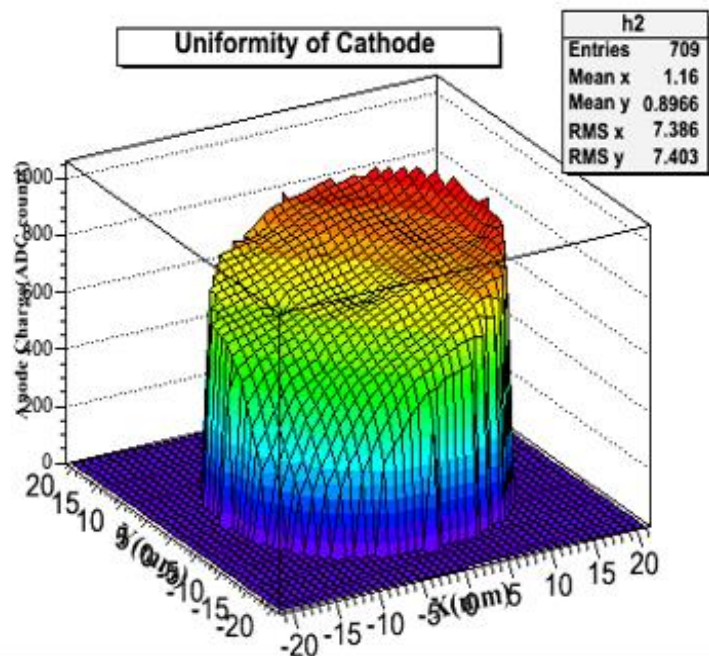
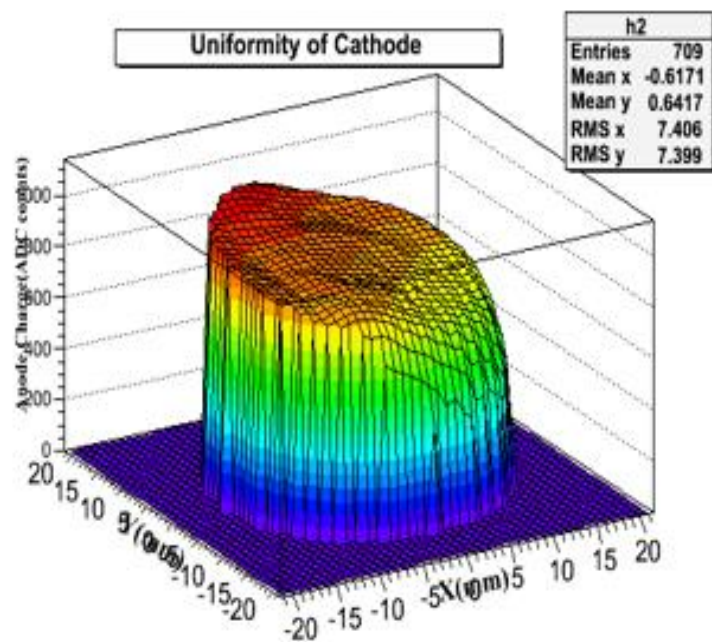
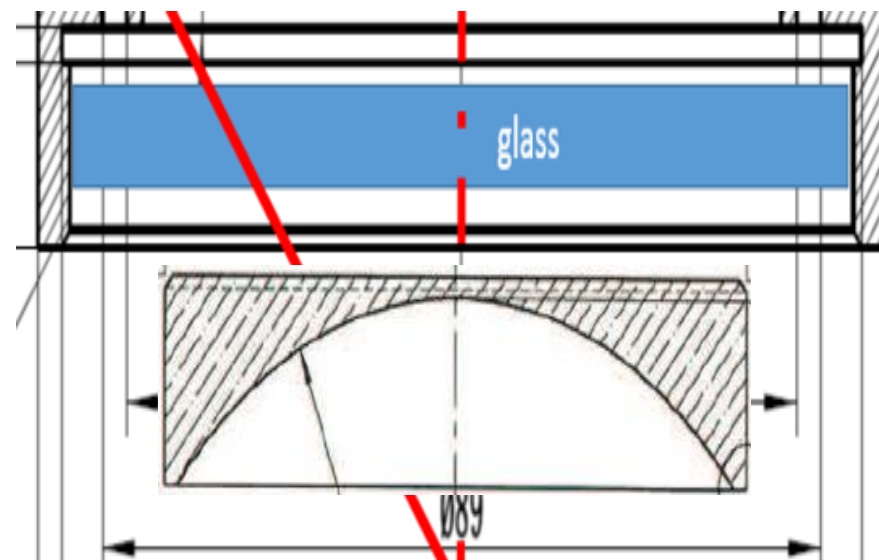
曾经尝试方案:

- **PMT 玻璃形状:** 平面, 弧形
 - **PMT玻璃吸收:** 有吸收, 无吸收
 - **封装方案:** 光阴极直接放水里, 放防水玻璃壳里
- 中间有空气, 有全反射问题
中间无空气, 硅胶耦合



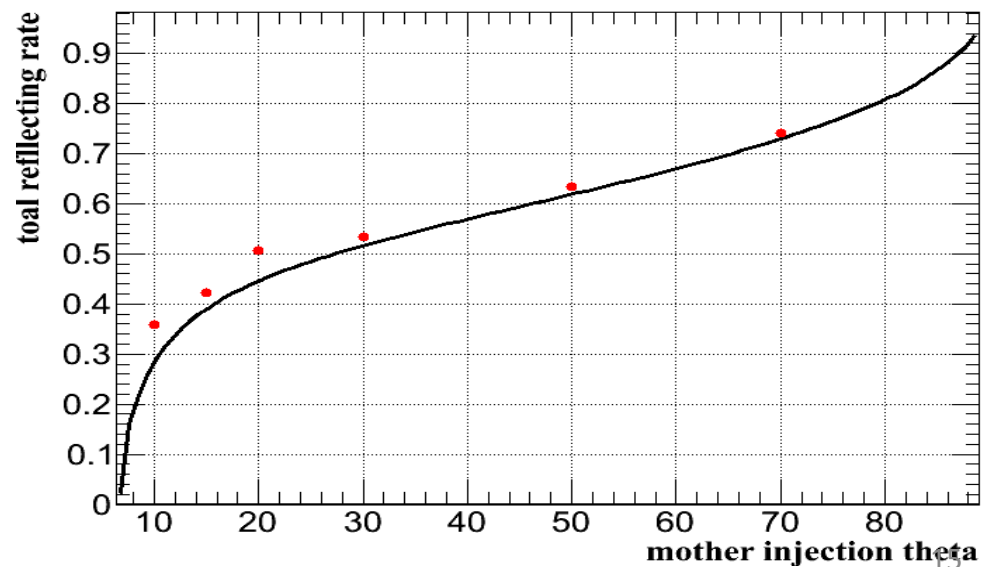
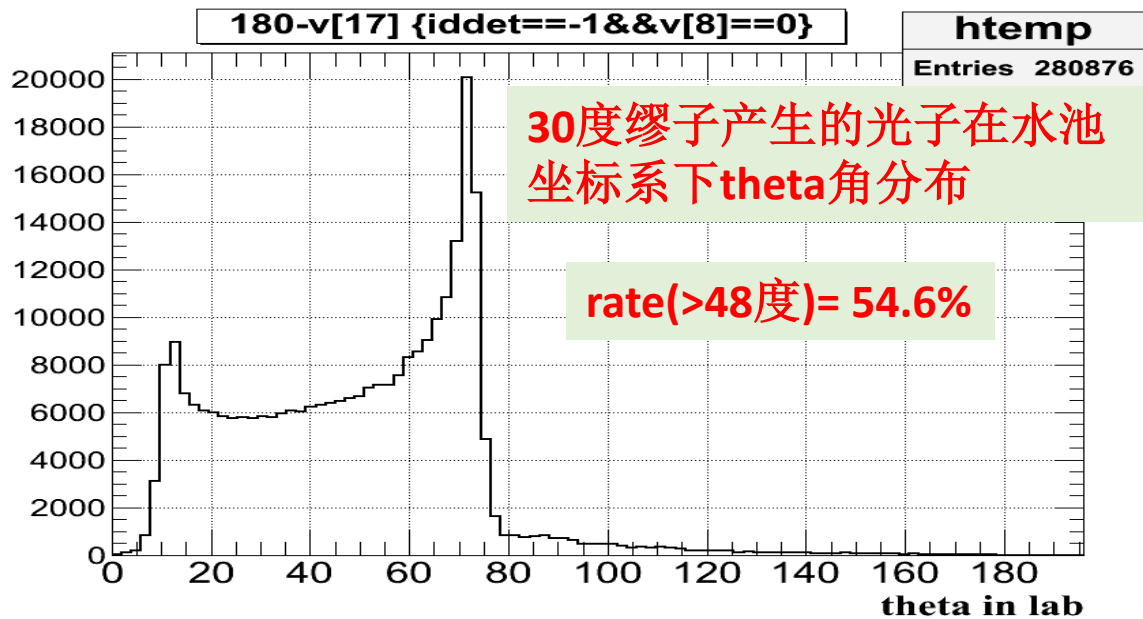
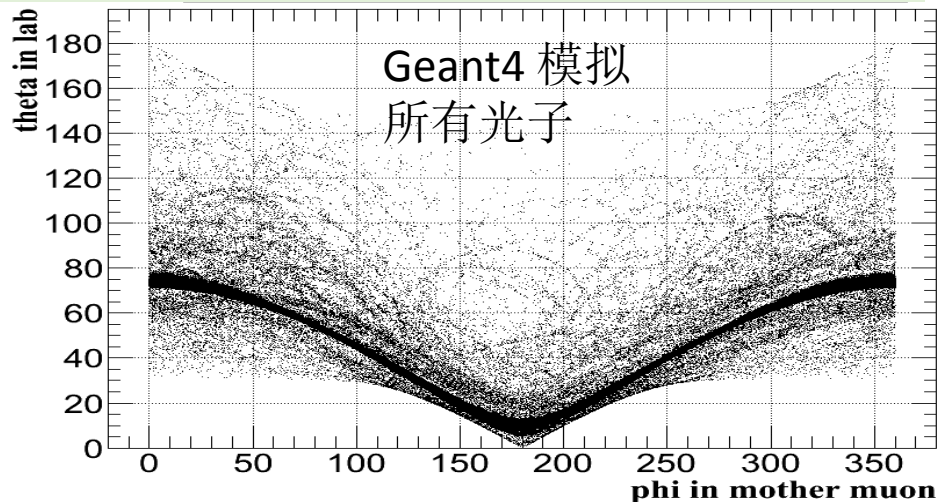
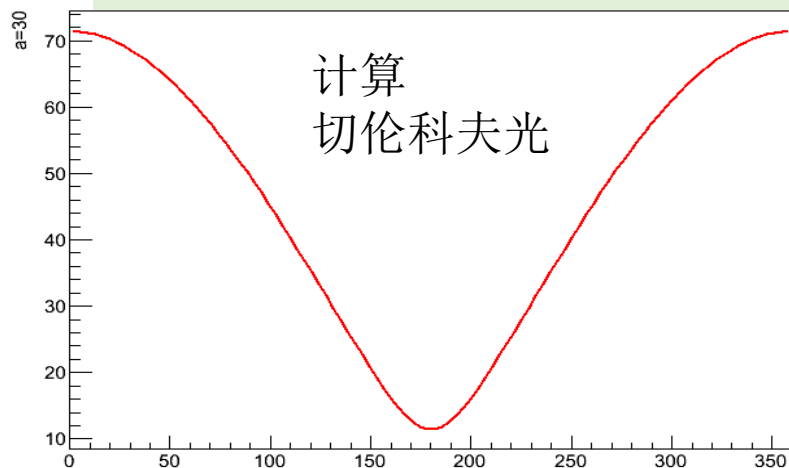
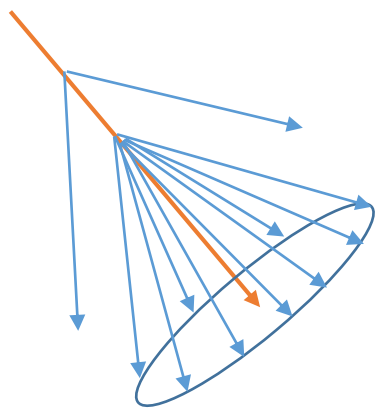
与实验测量结合的小PMT模拟方案:

- 弧形PMT玻璃, 放防水封装壳里,
- 防水水玻璃吸收按测量的吸收因子全模拟
- PMT玻璃材料为玻璃但吸收为0,
- 打在PMT玻璃弧面上的光子数先按量子效率曲线抽样,
- 再按山大测量的平面位置不一致性抽样得光电子数
- 绝对大小根据实验标定数据微调



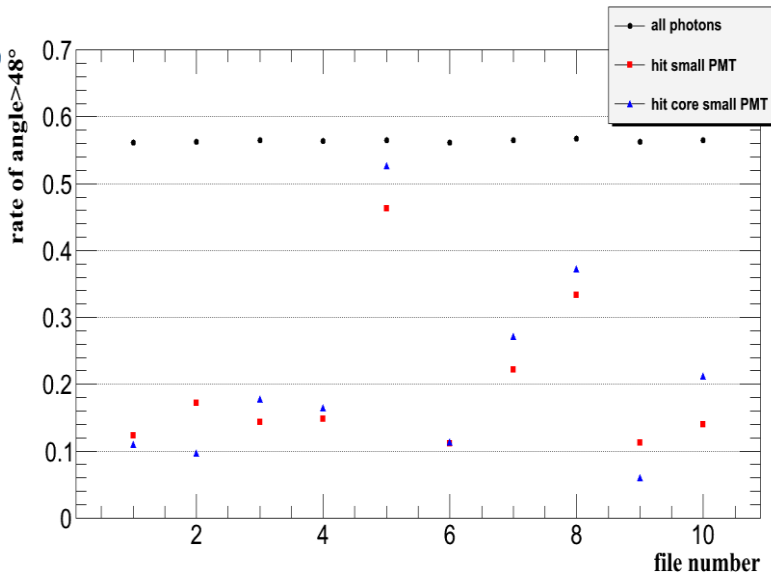
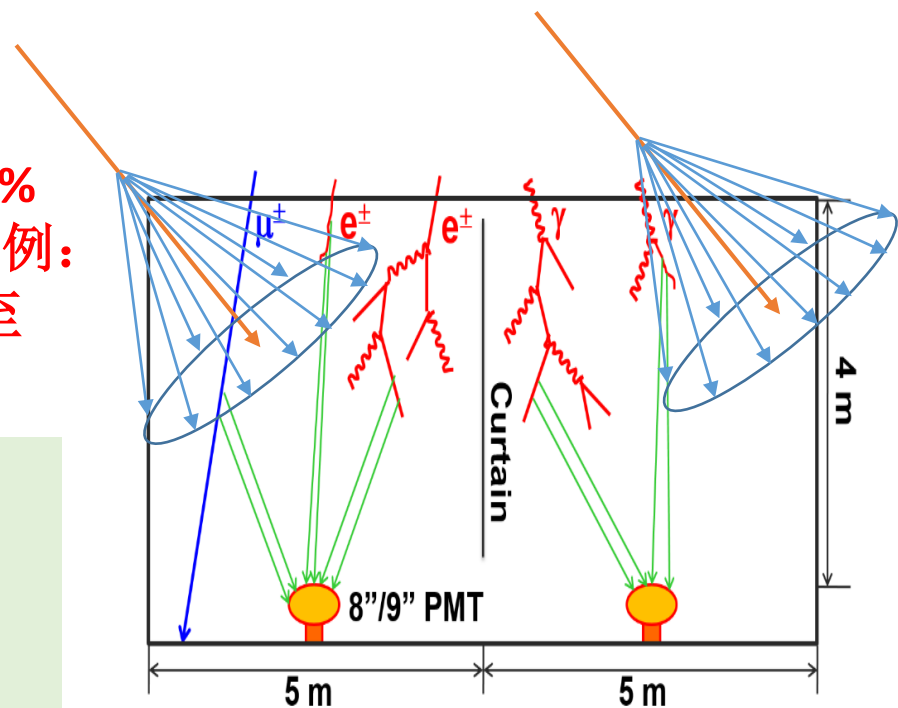
缪子产生的切伦科夫光角度分布

30度theta缪子产生的切伦科夫光子theta角随母粒子phi角变化

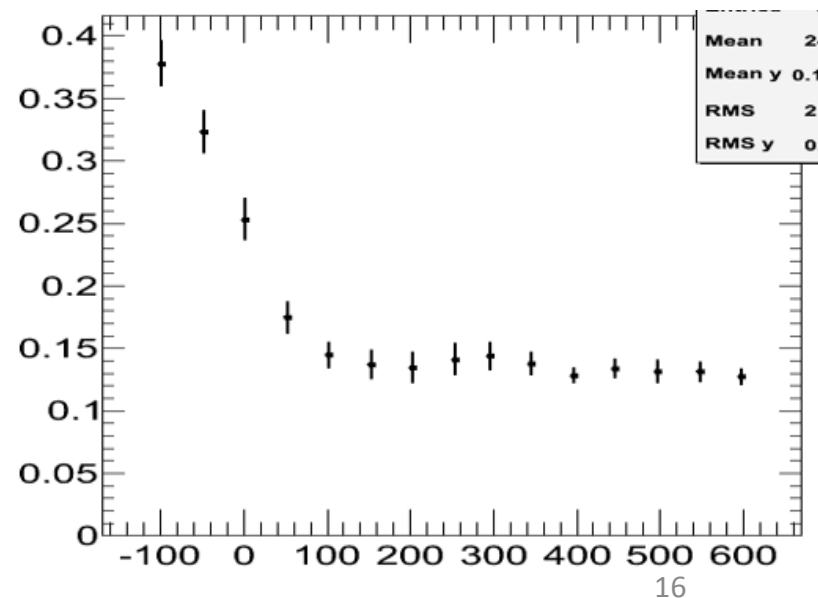
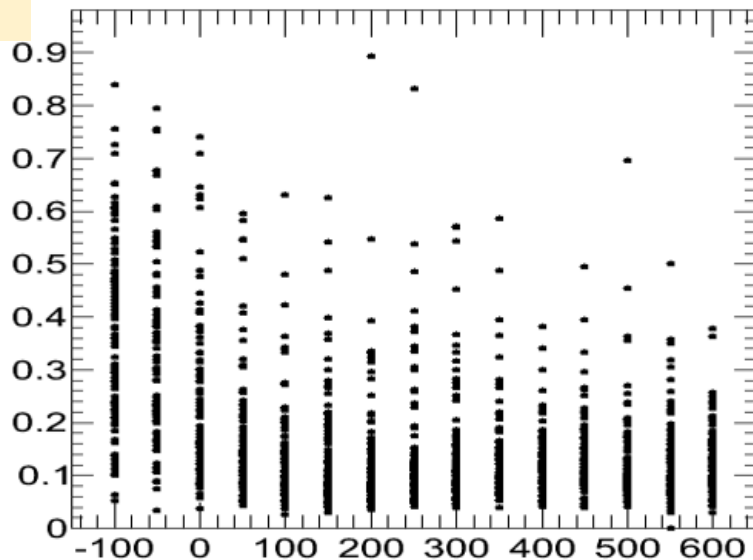
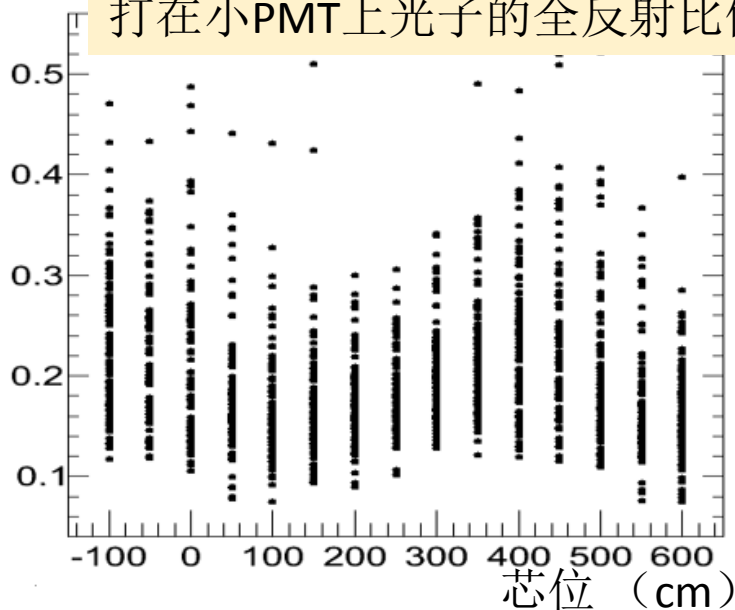


30度天顶角质子入射WCDA，
 总的光子中>48度的比例：约56%
 打在小PMT上的光子 >48度的比例：
 从百分之几到百分之五十多甚至
 更大不等。

若PMT和防水玻璃之间存在
 空气空隙，会增大信号
 对入射corsika事例的位置
 和角度依赖，增加不一致

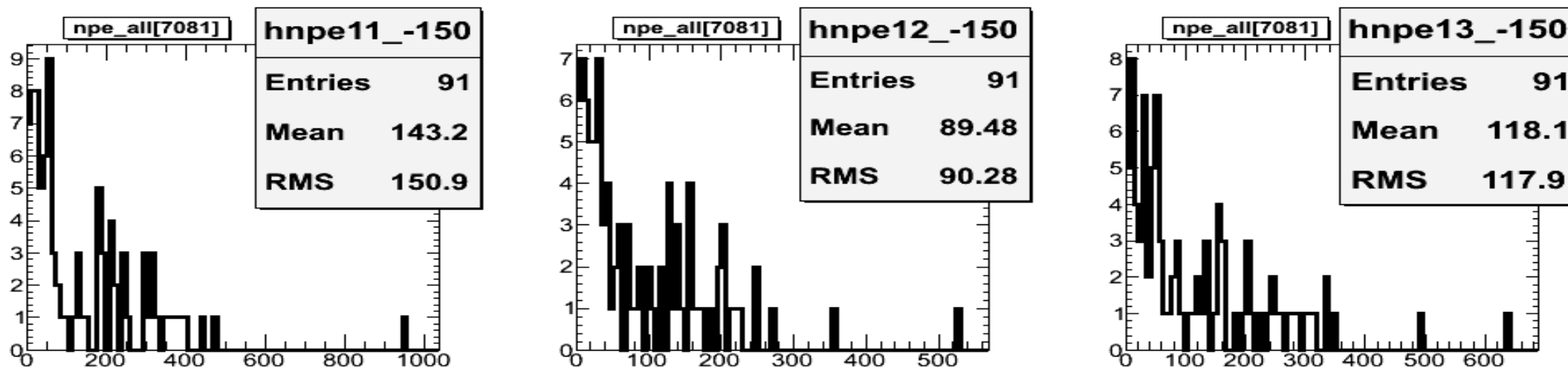


打在小PMT上光子的全反射比例

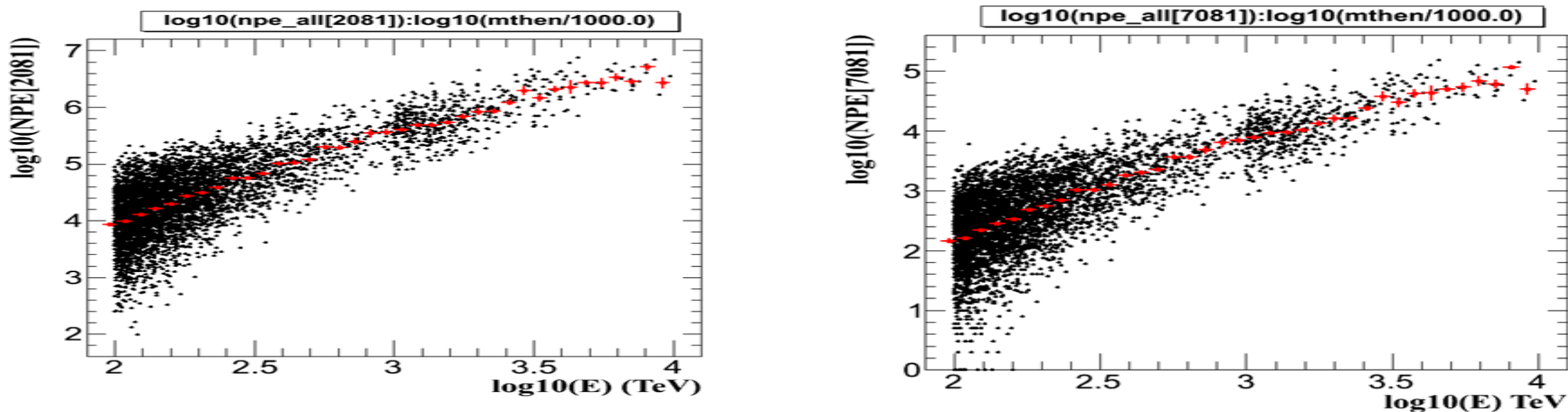


宇宙线信号及芯位重建

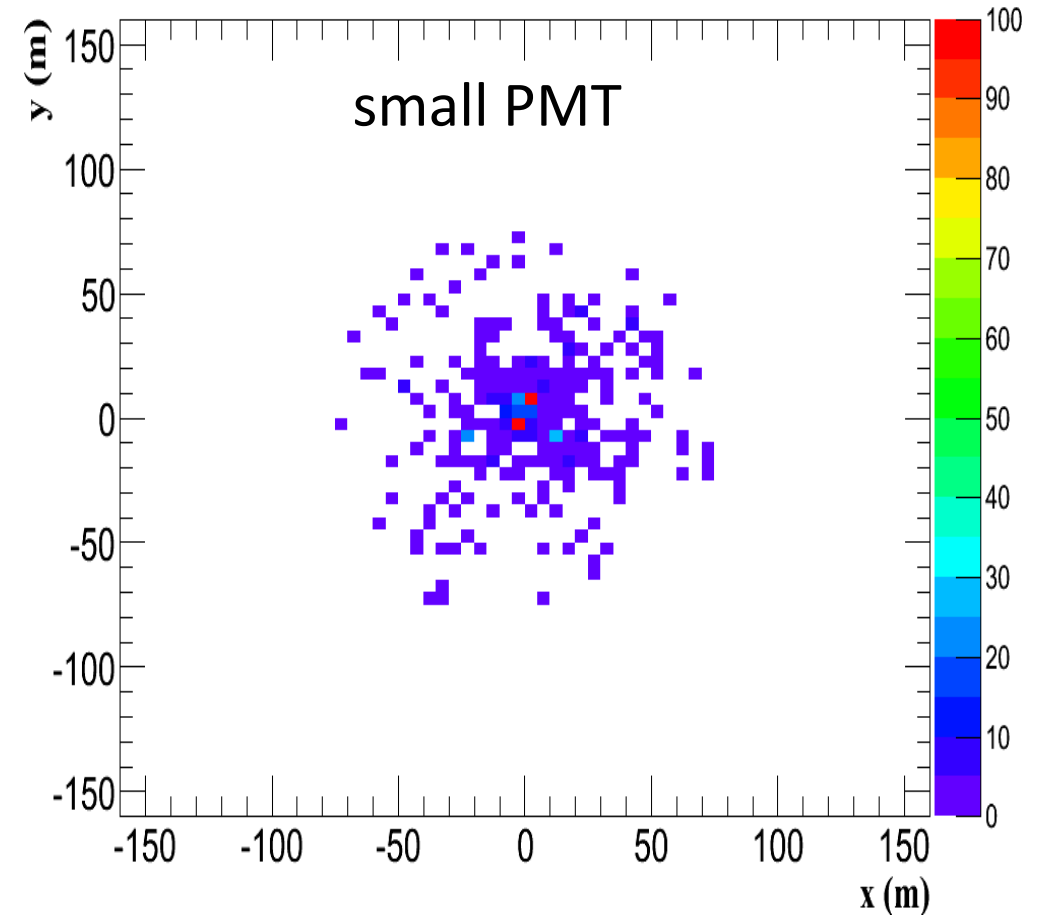
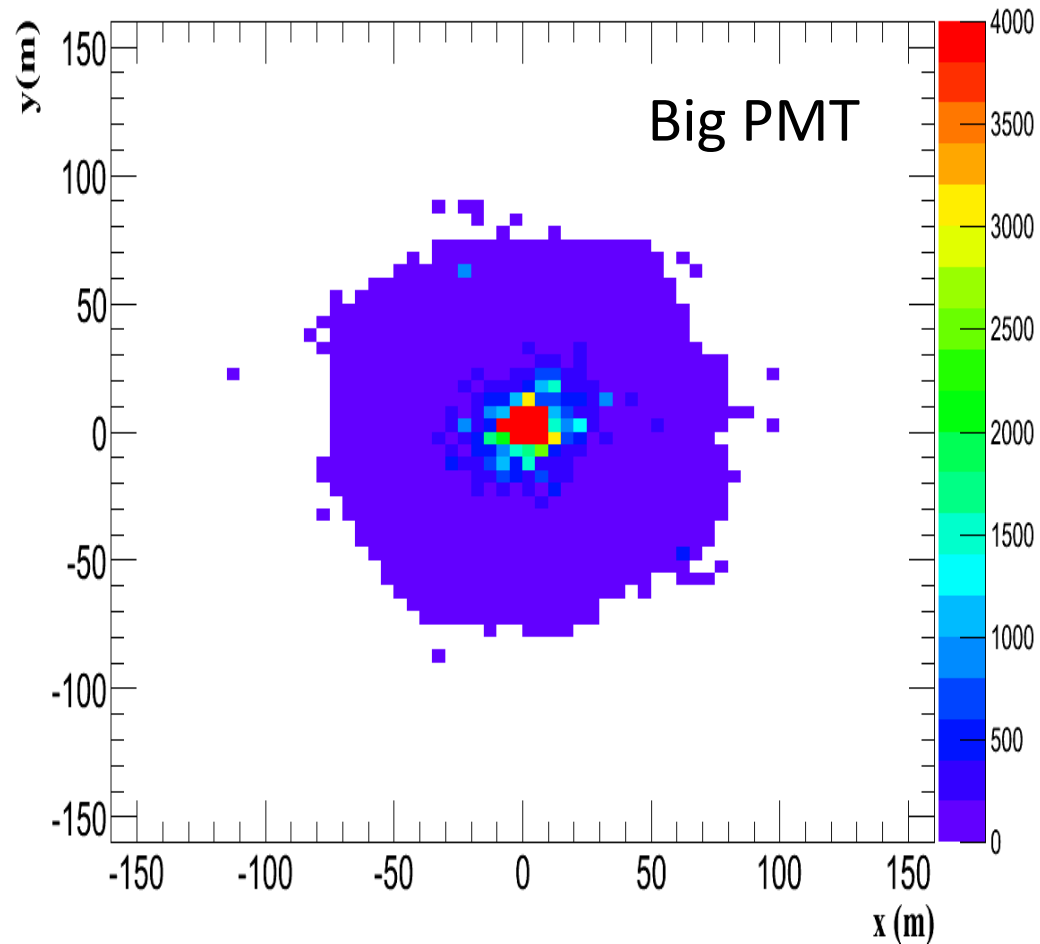
100TeV质子，不同小PMT封装模拟方式的芯位小PMT光电子数 (preliminary)



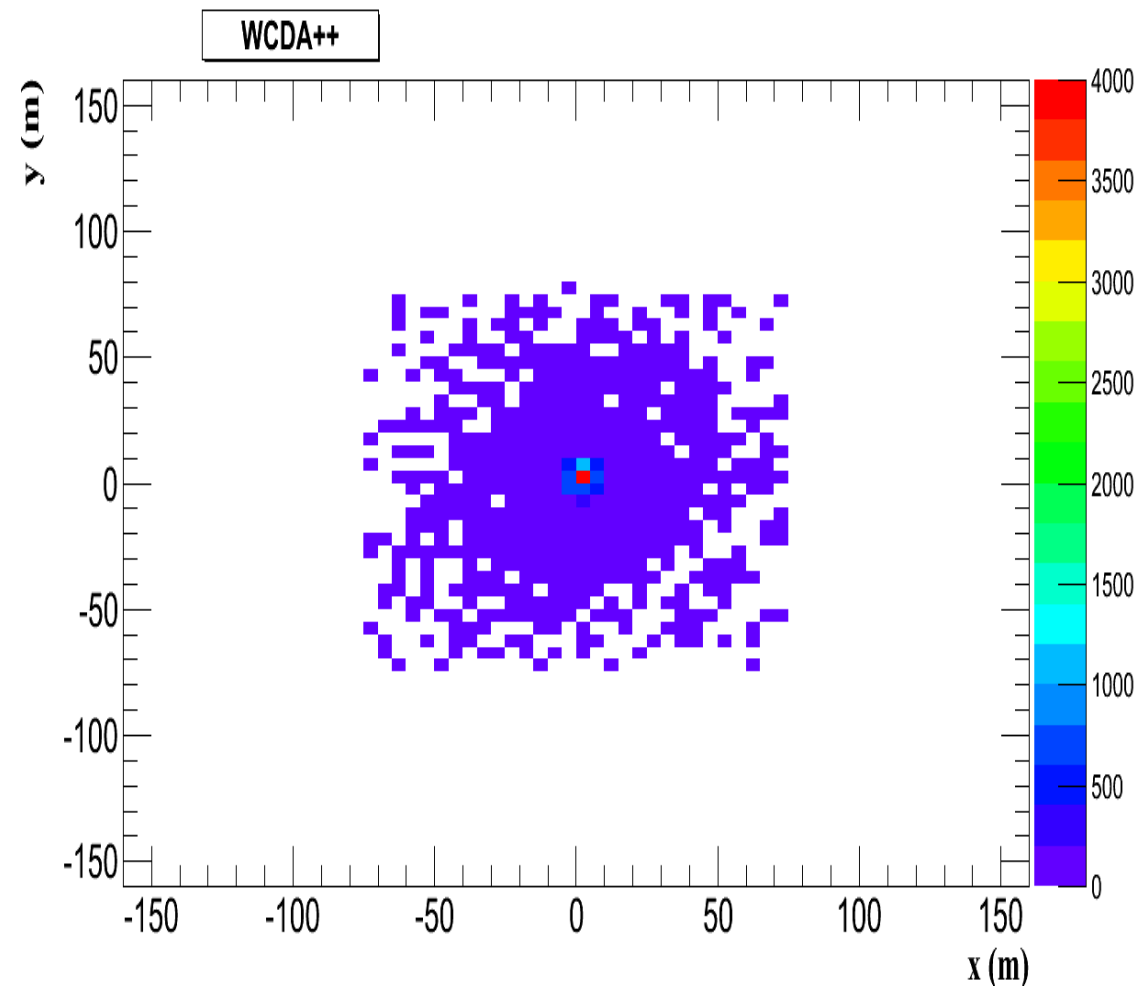
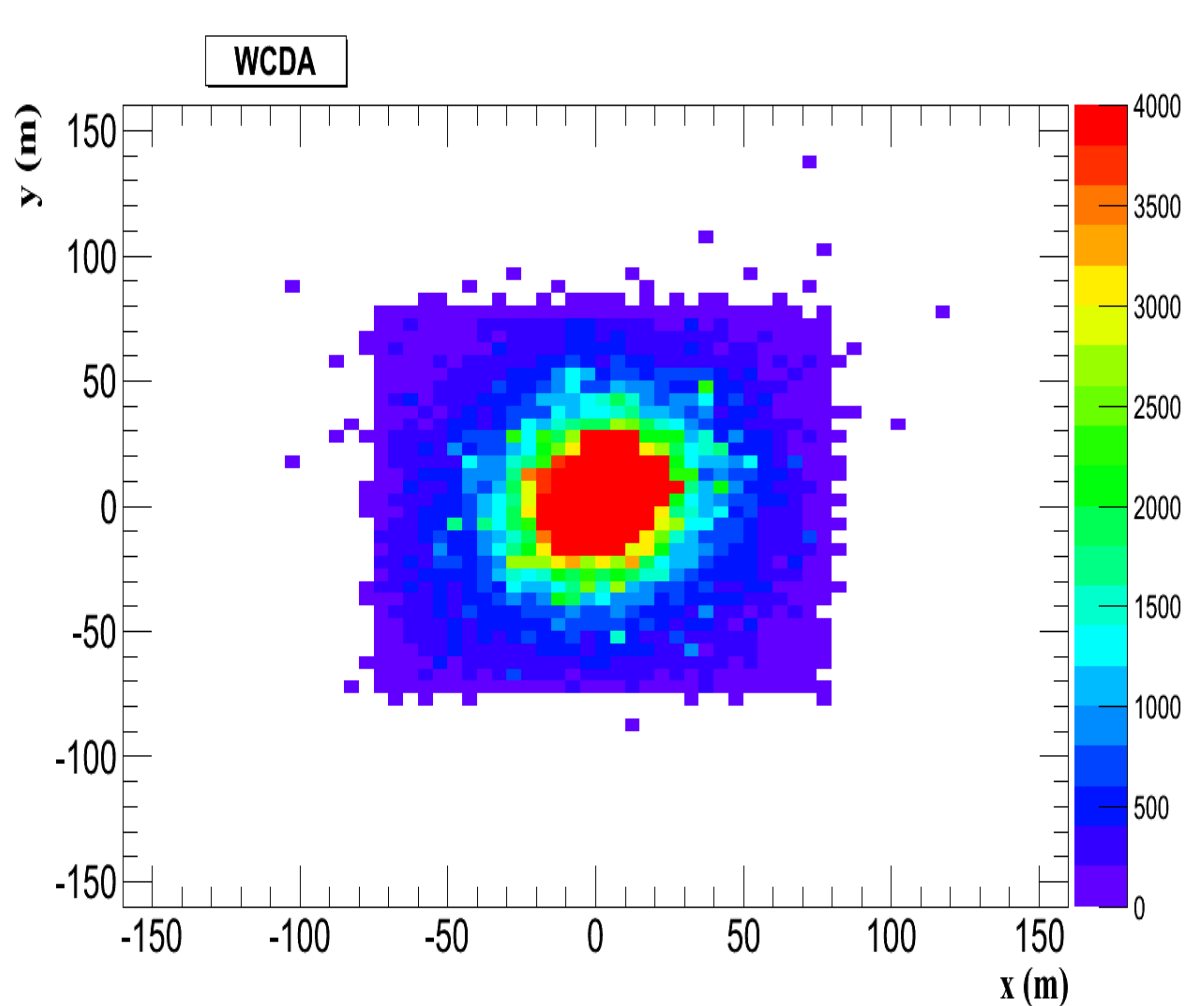
质子宇宙线事例芯位小PMT光电子数随能量变化 (preliminary)



天顶角30度一个100 TeV proton 的NPE事例显示

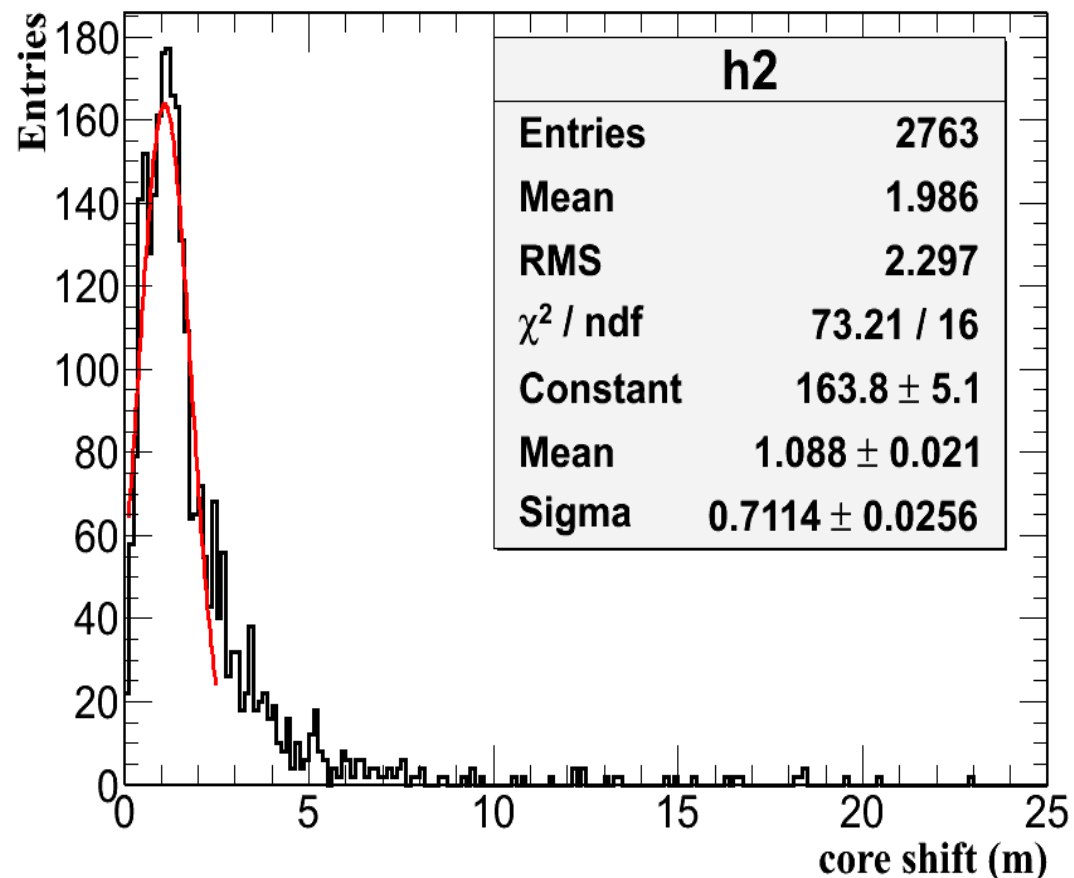


天顶角30度一个 1 PeV proton 的NPE事例显示

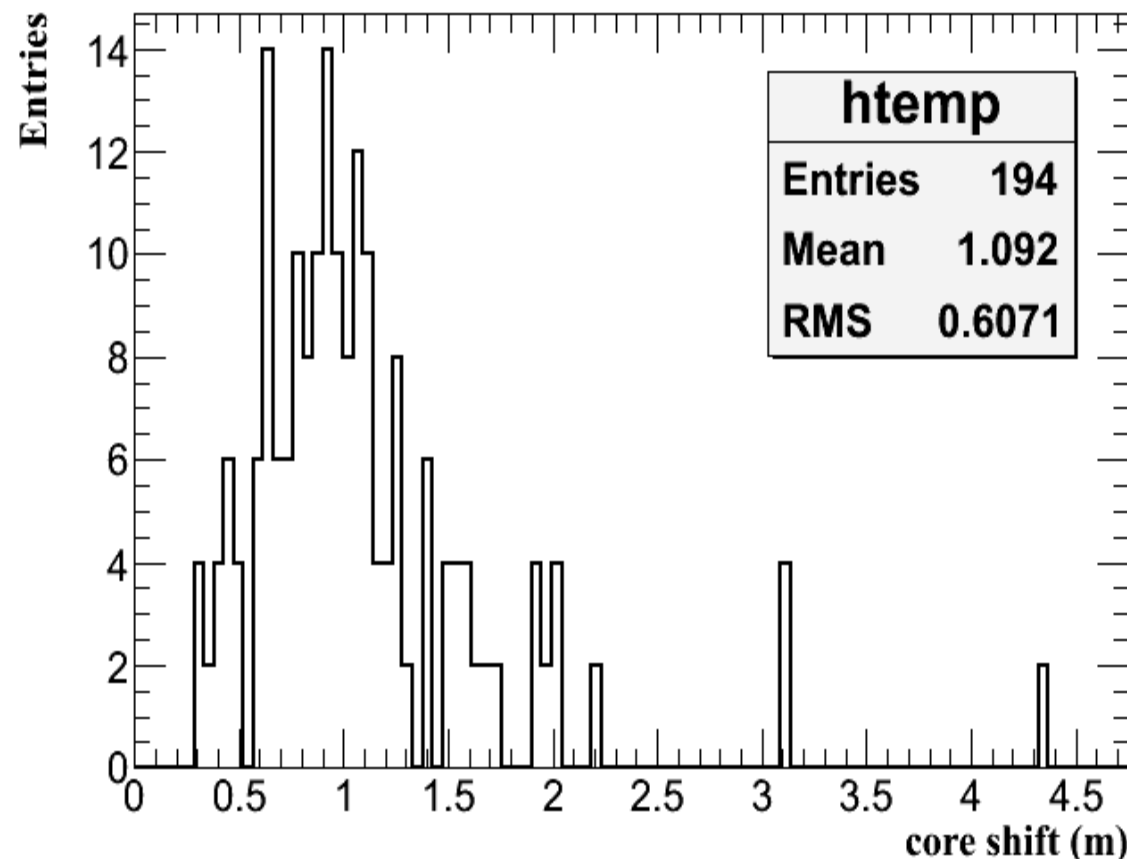


重心法芯位重建初步结果

100 TeV proton, theta=30



1 PeV proton, theta=0



总结

- 完成了全模拟和快速化模拟，速度基本满足要求；
- 实在了小PMT及封装方案的真实化模拟
- 模拟了不同能量不同入射方式的宇宙线事例，
- 进行了重心法芯位重建研究

下一步：

- 大批量模拟不同小PMT封装方案不同遮挡面积的结果
- 完成本底单缪信号峰和大小PMT比值标定研究
- 根据实验PMT阈值，结合大小PMT进行芯位重建
- 加入WCDA屋顶等结构，gennt4版本升级
- 大批量模拟不同能量的宇宙线事例并重建

谢谢！