

KM2A触发模式研究和重建进展介绍

报告人：武莎

指导人：陈松战、何会海

内容

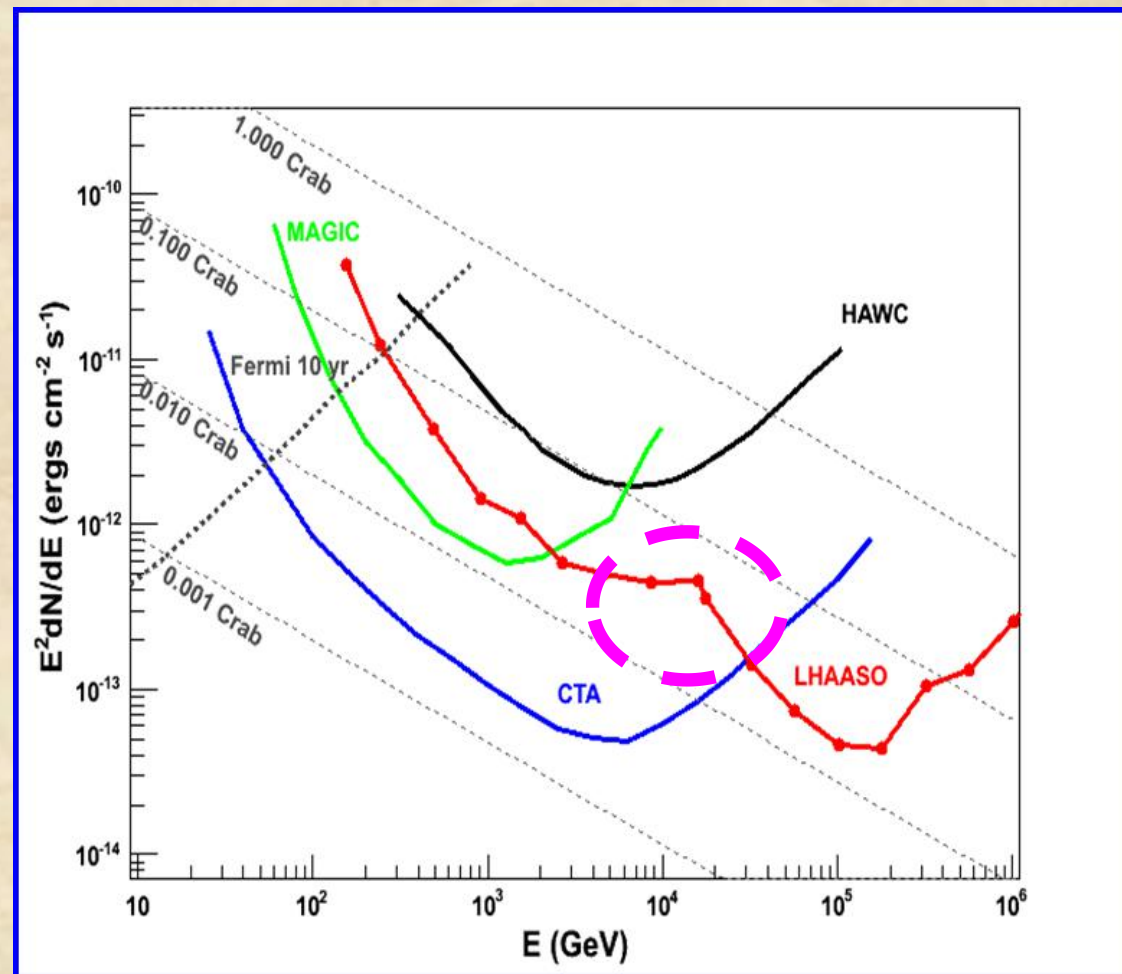
- 一、引言
- 二、触发模式研究
- 三、重建进展
- 四、总结

一、引言

WCDA主要探测能段：
0.2-20 TeV

KM2A主要探测能段：
>20 TeV

5-30 TeV为两探测器过渡能区



KM2A阵列:

ED: 5261 单道计数率: 2 kHz

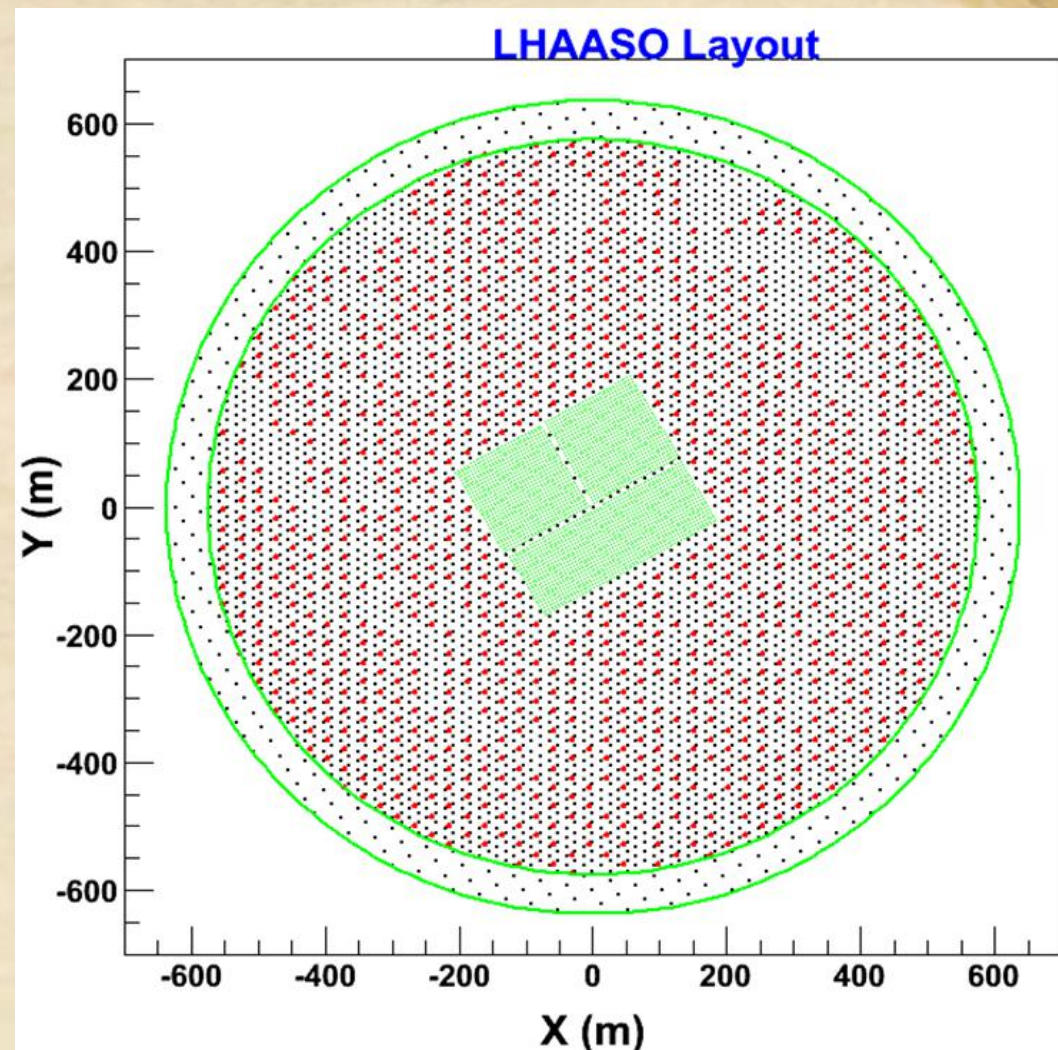
MD: 1146 单道计数率: 6 kHz

特点: 面积大、数量多, 没有硬触发, 在后期可以进行灵活的软触发

动机:

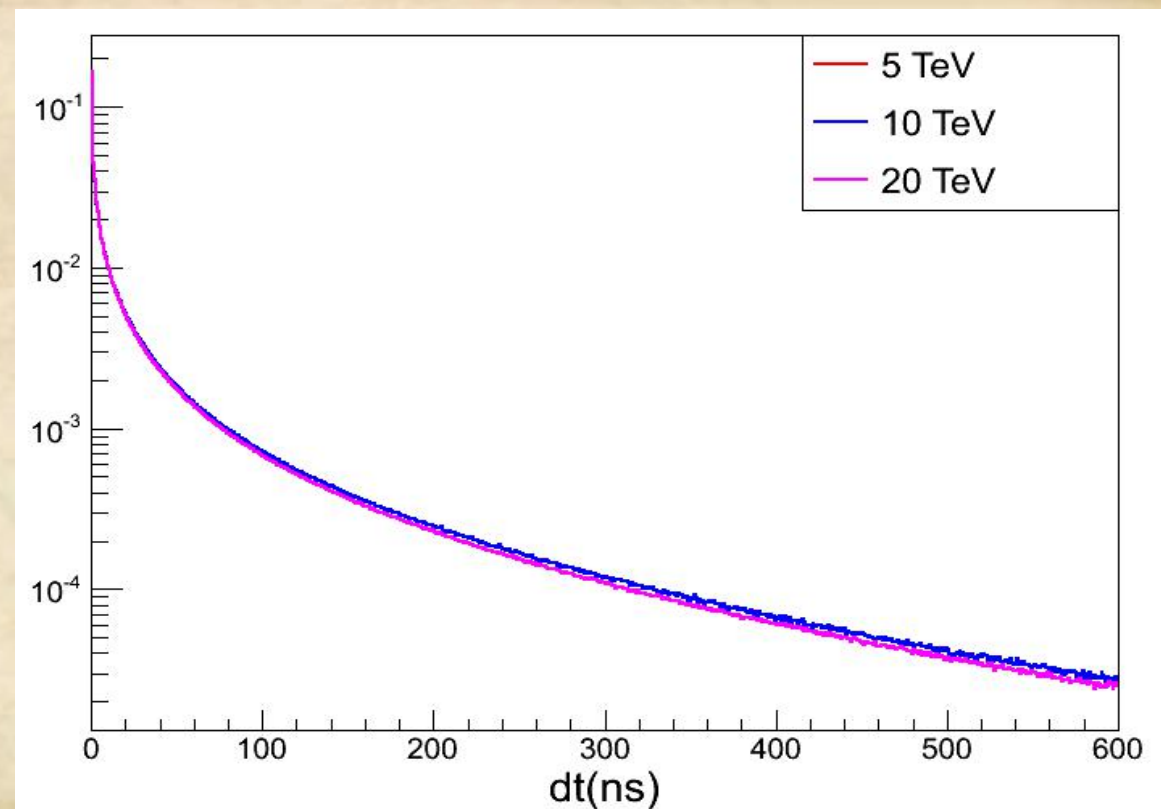
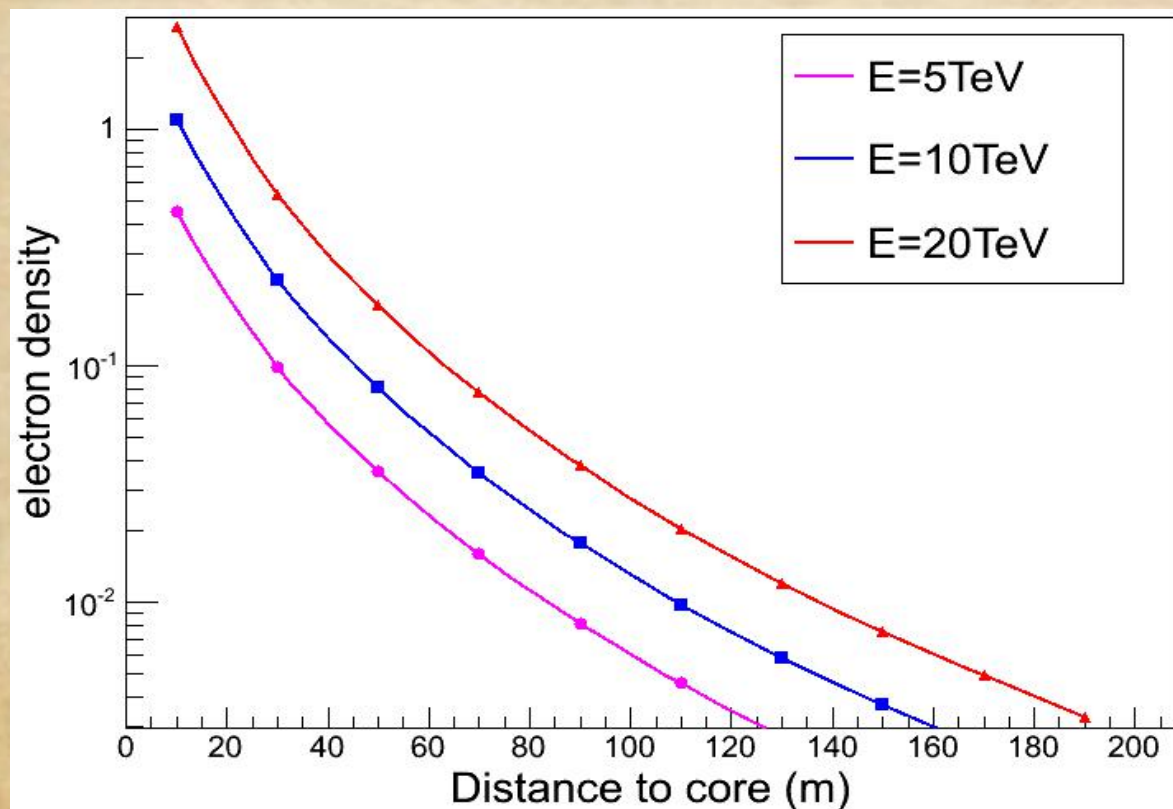
研究KM2A的触发模式: 降低阈能, 提高KM2A在20TeV以下的灵敏度。

研究KM2A的重建: 有效排除噪声, 提高芯位、方向、 u 子数等重建精度, 从而提高KM2A的灵敏度。



二、KM2A触发模式研究

次级粒子空间分布集中在芯区附近，达到时间分布集中在前锋面，而KM2A分布在1平方公里，所以基于一定的空间窗口和时间窗口进行事例触发判选，有效降低噪声干扰。



设计原则:

在抑制偶然符合噪声率同时提高伽马射线事例触发率。

具体优化条件:

偶然符合噪声率 $<10\text{Hz}$ ($<1\%$ 可以改变)

最低触发ED数目不低于5 (方向拟合变量数)

对伽马射线探测率 (或者有效面积) 尽量高

空间窗口: $R: 100, 150, 200 \text{ m}$

时间窗口: $T: 200, 300, 400 \text{ ns}$

偶然符合噪声率估计

① 200/300/400ns 时间窗口，平均产生的噪声数

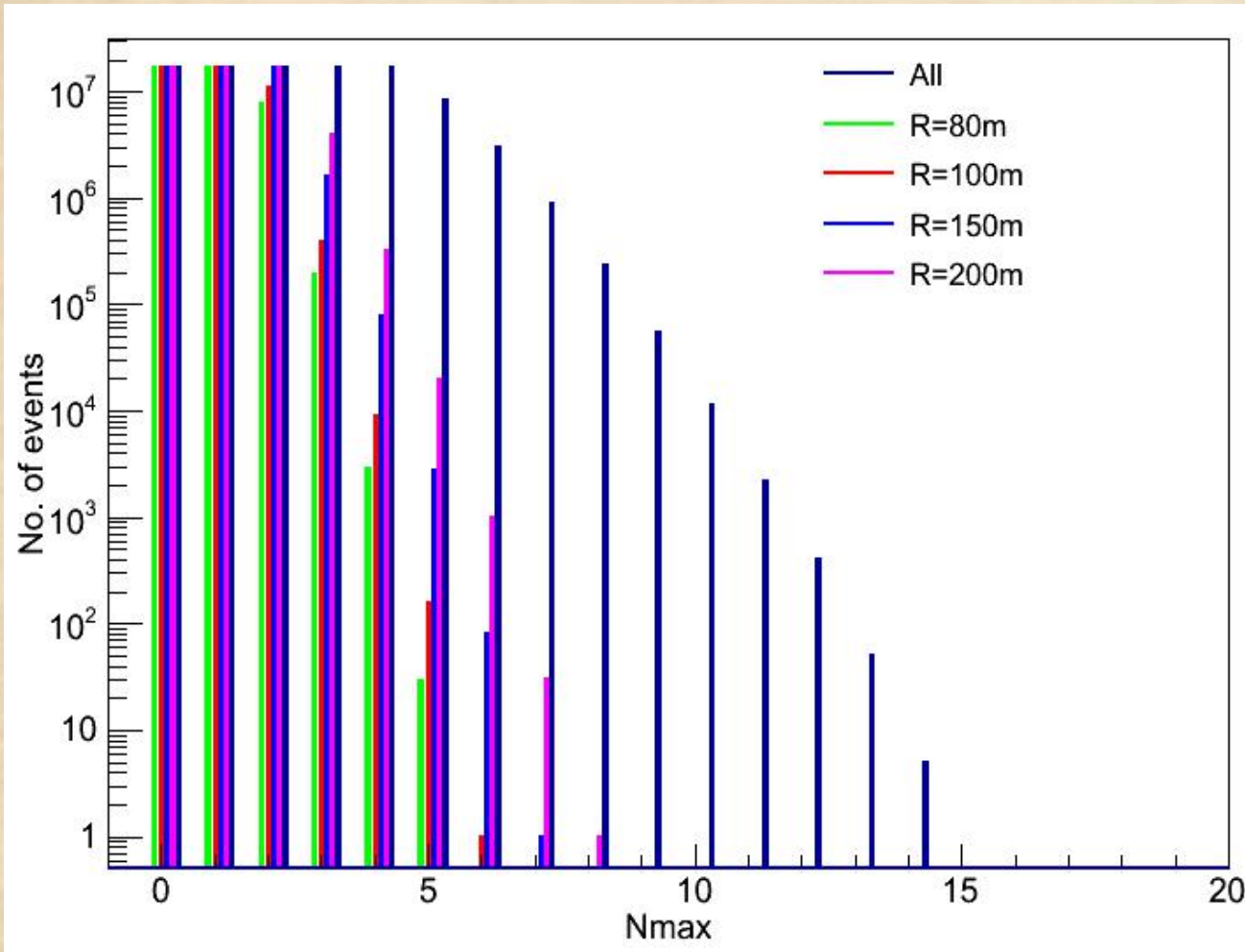
$$\langle n \rangle = 200\text{ns} \times 10^{-9} \times 2000\text{Hz} \times 5261 = 2.1$$

② 以 $\langle n \rangle$ 作为均值做泊松抽样 n ，随机抽取 n 个ED触发

③ 统计不同触发模式下的最大偶然符合ED数 N_{\max}

④ 重复②-③步 2×10^8 次（100ns的监测步长，相当于20秒）

偶然符合事例率 (步长100ns, 20s)



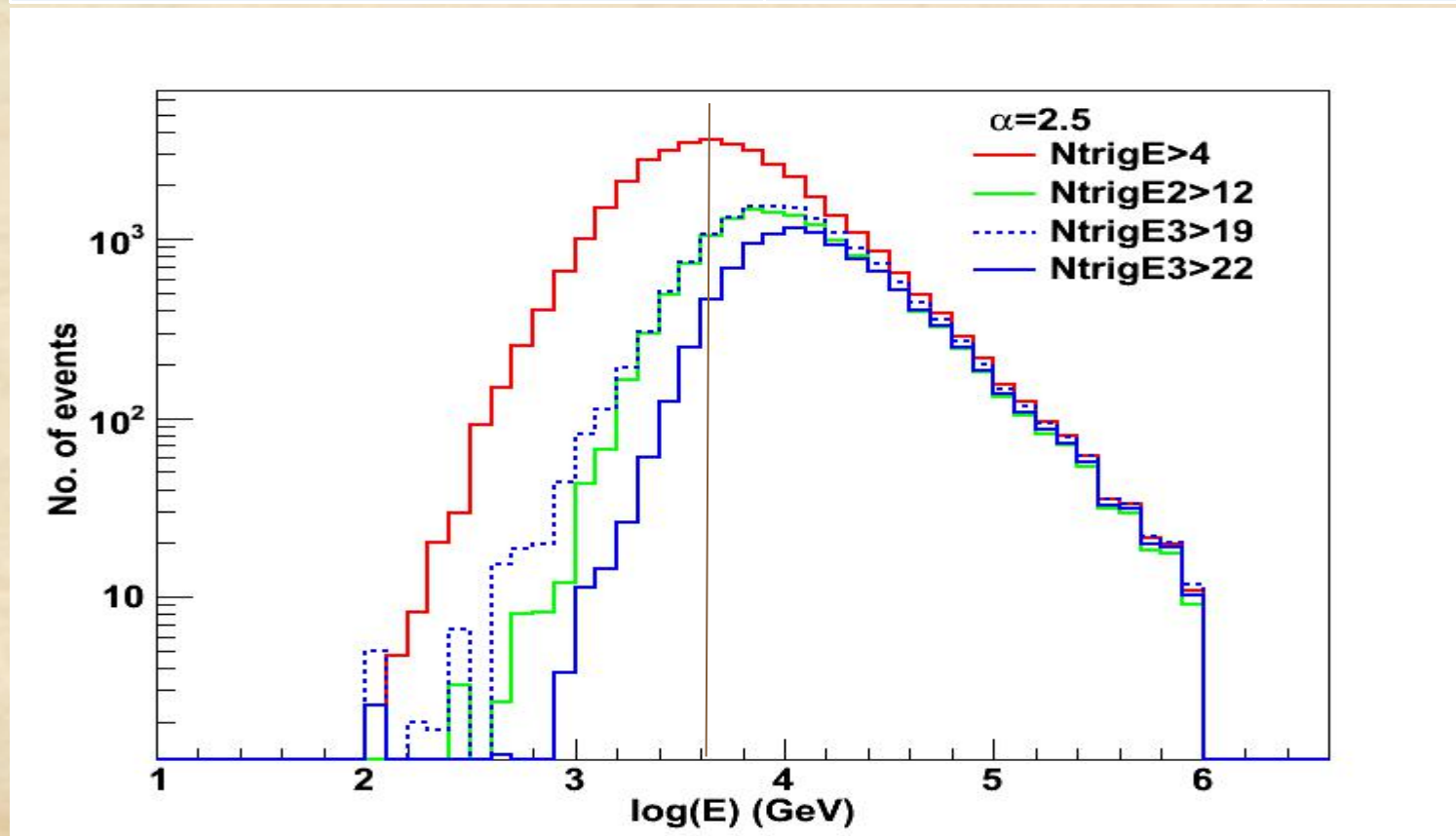
时间窗口为**200ns**
空间窗口为**150m**
触发条件: **Nmax>5**
噪声偶然符合的事例
率: **80/20s=4 Hz**

不同窗口下的触发条件

时间	空间	触发条件	偶然符合事例率	误差
200ns	100m	$N_{\text{trigE}} > 4$	7.9	0.63
	150m	$N_{\text{trigE}} > 5$	4	0.45
	200m	$N_{\text{trigE}} > 6$	1.55	0.28
300ns	100m	$N_{\text{trigE}} > 5$	1.2	0.245
	150m	$N_{\text{trigE}} > 6$	1.6	0.28
400ns	100m	$N_{\text{trigE}} > 5$	5.85	0.54
	150m	$N_{\text{trigE}} > 7$	0.4	0.14

不同触发模式比较

触发条件	偶然符合噪声率 (Hz)	触发事例数比
T=200ns,R=100m,NtrigE>4	7.9	2.46
T=200ns,NtrigE>12	3.22	0.92
T=600ns,NtrigE>19	105.4	1.00



触发率和伽马探测阈能

触发条件 $T=200\text{ns}$, $R=100\text{m}$, $N_{\text{trig}}E>4$

- 宇宙线触发率

- Horandel 2003 model

- P: $8.73e-2 E^{-2.71}$ 4.0 kHz

- He: $5.71e-2 E^{-2.64}$ 1.8 kHz

- CREAM 2011 result

- P: $8.17e-2 E^{-2.66}$ 4.3 kHz

- He: $6.83e-2 E^{-2.58}$ 2.4 kHz

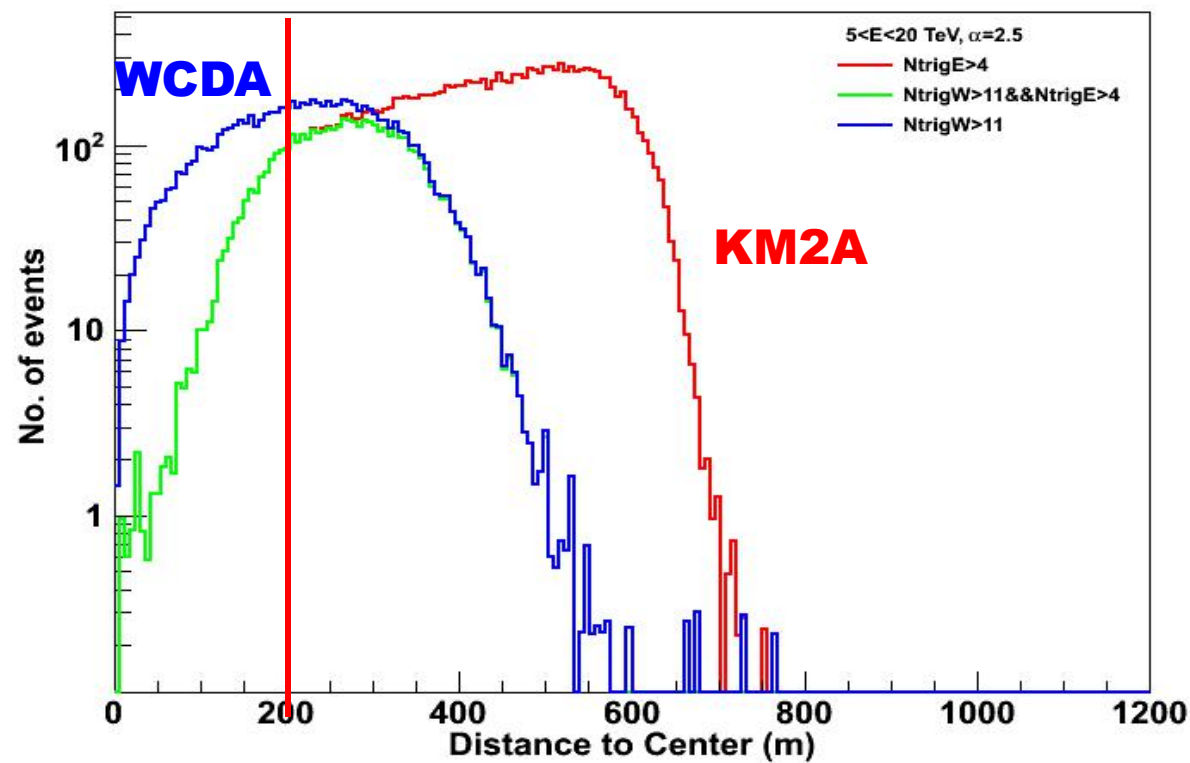
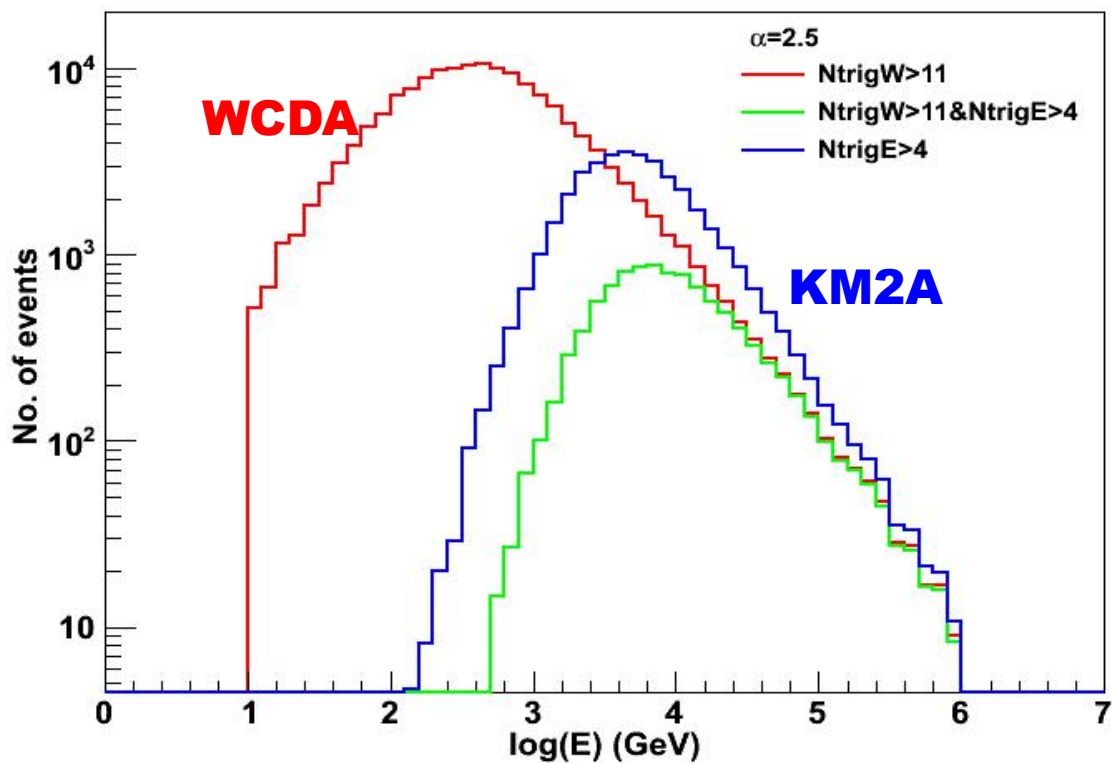
- 触发阈能

- 质子 5.6 TeV

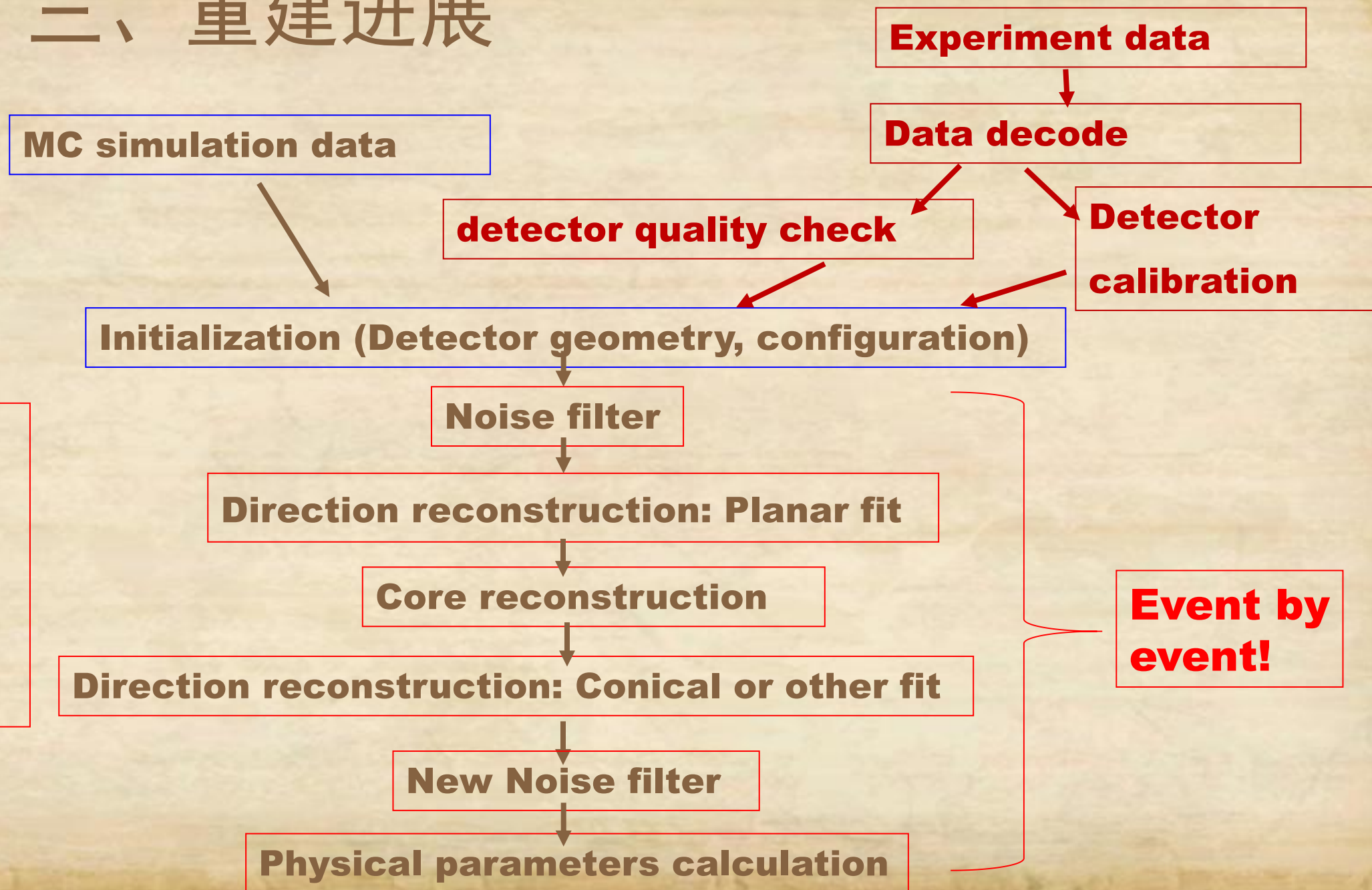
- 伽马射线 3.9 TeV

KM2A vs WCDA (5TeV-20TeV)

新的触发模式显著提高LHAASO在5TeV-20TeV的伽马射线触发事例，为进一步提高相应灵敏度奠定了基础。



三、重建进展



模块化设计，每个模块都可以方便修改、替换算法。

Event by event!

方向重建

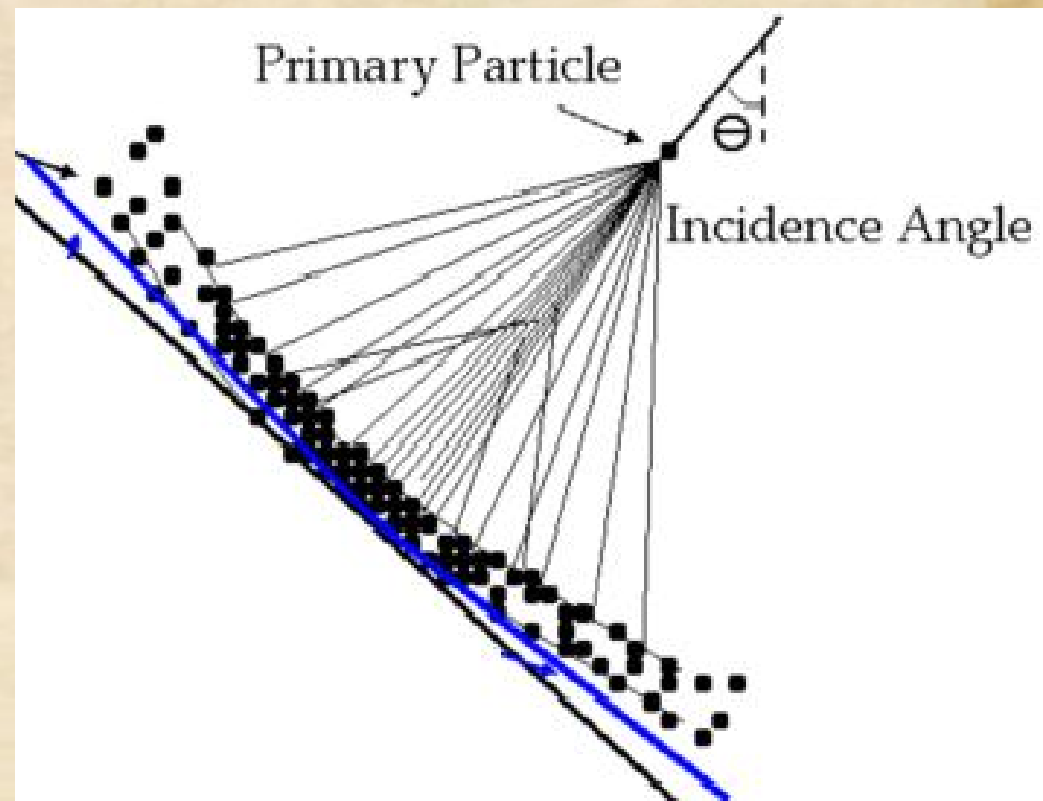
1、方向重建——前鋒面拟合

$$\chi^2 = \sum_i^N w_i \left(t_i - \frac{lx_i + my_i + nz_i + \alpha R_i + ct_0}{c} \right)^2$$

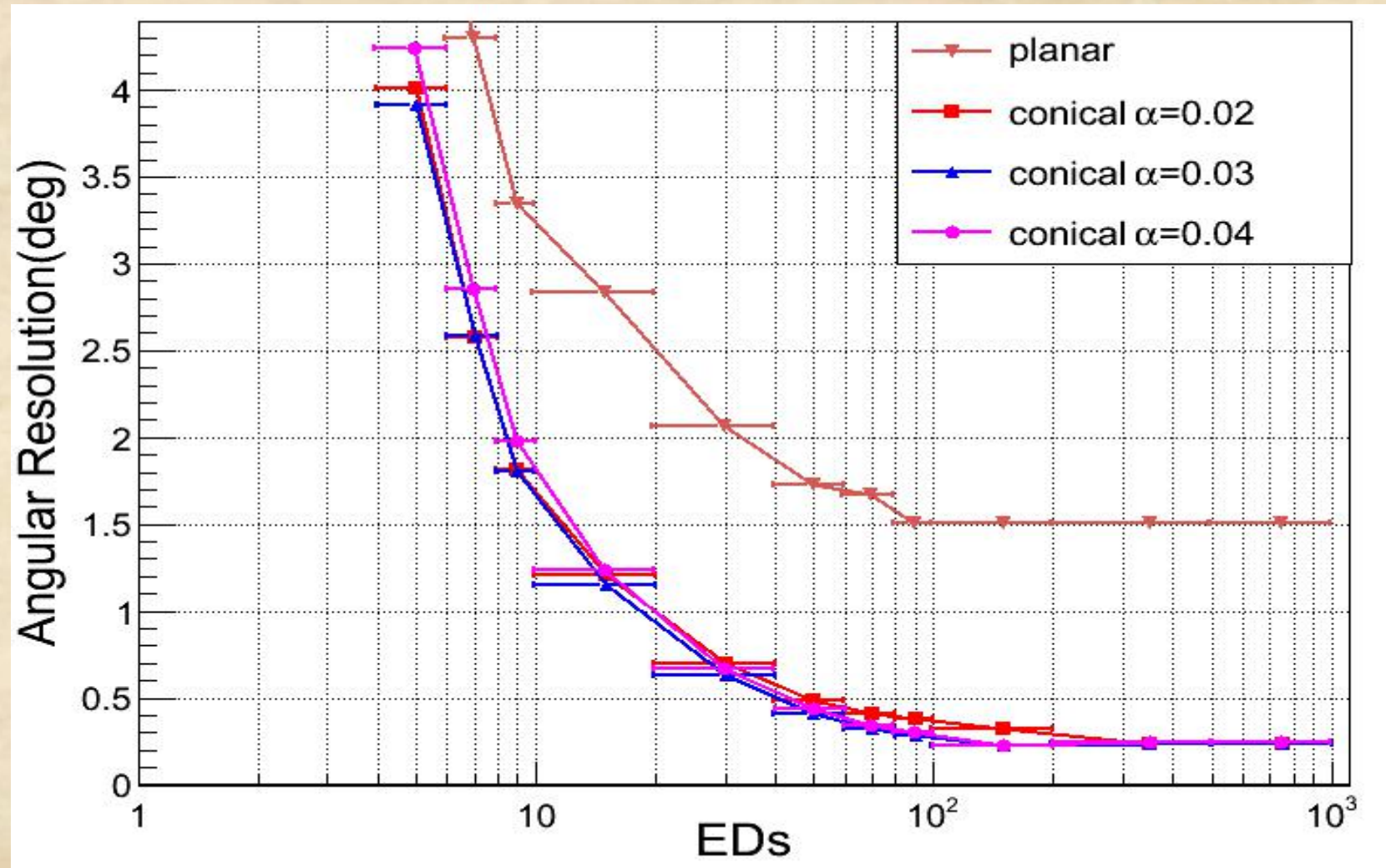
$$\frac{\partial \chi^2}{\partial l} = 0, \frac{\partial \chi^2}{\partial m} = 0, \frac{\partial \chi^2}{\partial n} = 0, \frac{\partial \chi^2}{\partial t_0} = 0, \frac{\partial \chi^2}{\partial \alpha} = 0$$

其中, $l = \sin \theta \cos \phi$, $m = \sin \theta \sin \phi$, $n = \cos \theta$
 $c = 29.98 \text{ cm/ns}$, α 为锥面因子
 $(x_i; y_i)$ 为第 i 个探测器的位置坐标

权重: w 为 $\sigma = 10 \text{ ns}$ 的高斯形式
进行迭代30次



角分辨



芯位重建

1、重心法

权重: (1) w 为ED上的粒子数

(2) w 为 $\sigma = 15m$ 的高斯形式, 迭代30次

$$X_{core} = \frac{\sum_i w_i x_i}{\sum_i w_i}, Y_{core} = \frac{\sum_i w_i y_i}{\sum_i w_i}$$

2、NKG拟合

$$\rho_e(r, s, N_e) = \frac{N_e}{R_m^2} \frac{\Gamma(4.5 - s)}{2\pi\Gamma(s)\Gamma(4.5 - 2s)} \left(\frac{r}{R_m}\right)^{s-2} \left(1 + \frac{r}{R_m}\right)^{s-4.5}$$

(1) 预期 r 处ED接收到的粒子数

$$\mu = \rho(r) \cdot A$$

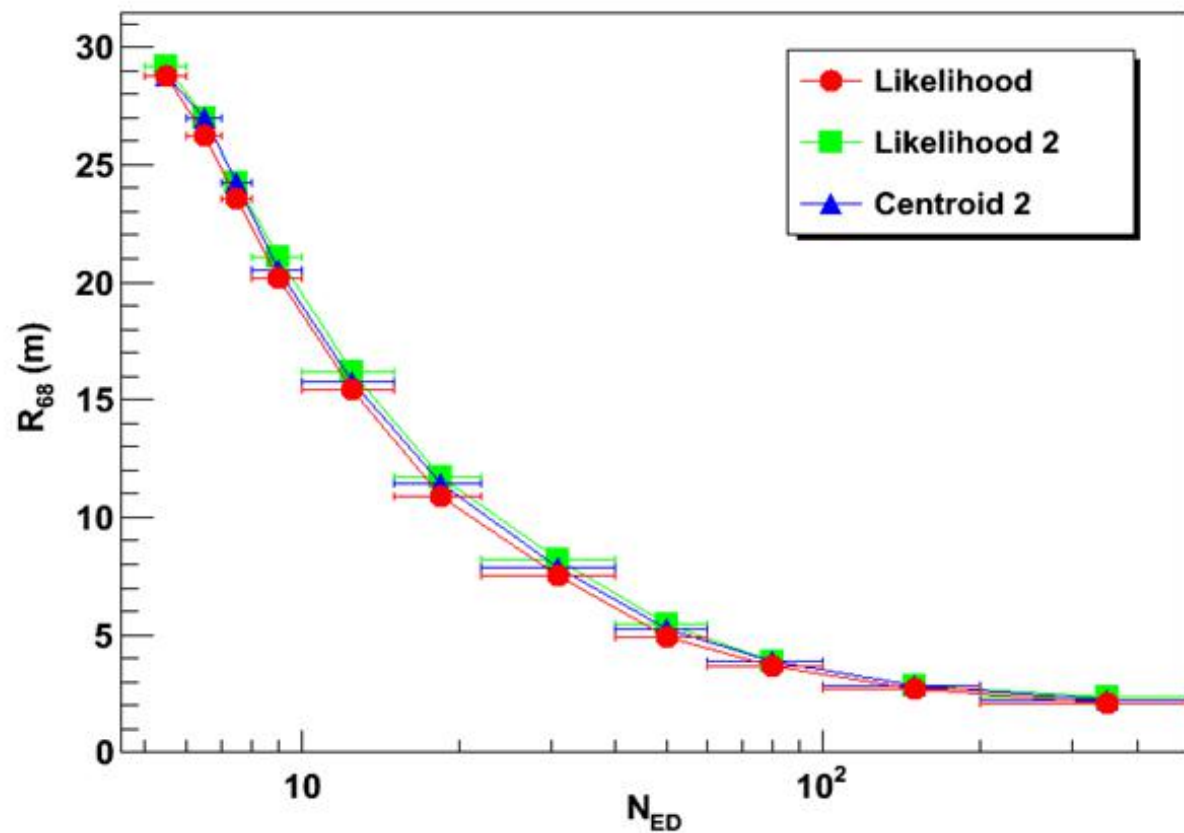
(2) 实际接收粒子数 m 符合泊松分布

$$P(m) = \frac{\mu^m}{m!} e^{-\mu}$$

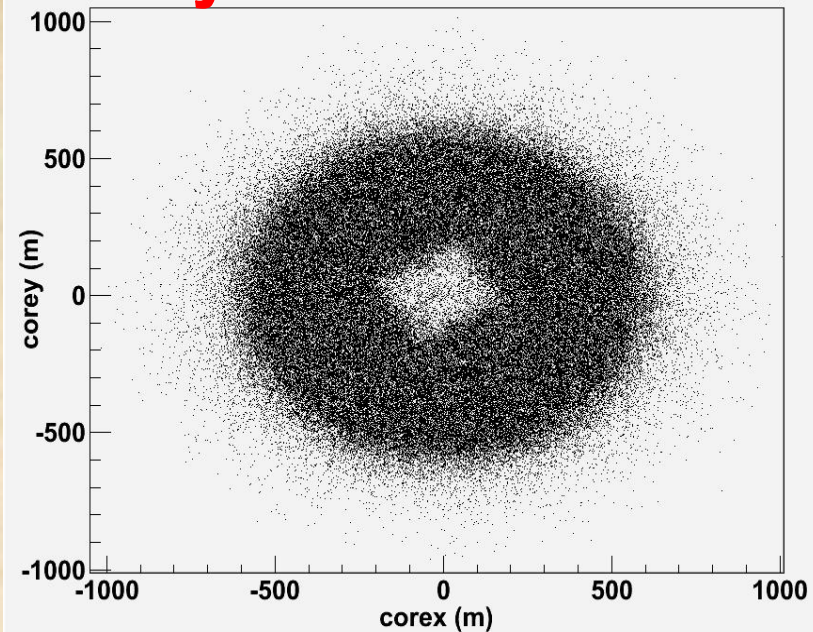
(3) 构造似然函数

$$LF = \prod_{k=1}^N p_k m(k)$$

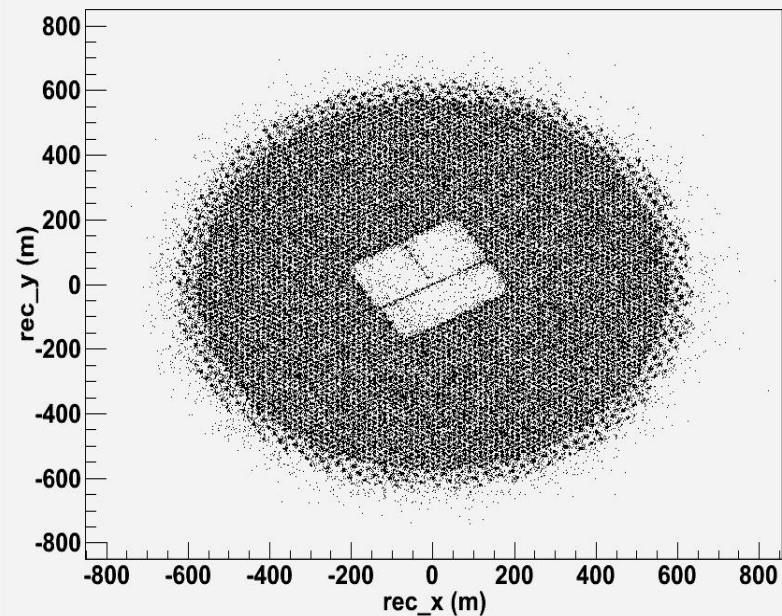
芯位重建



Primary core



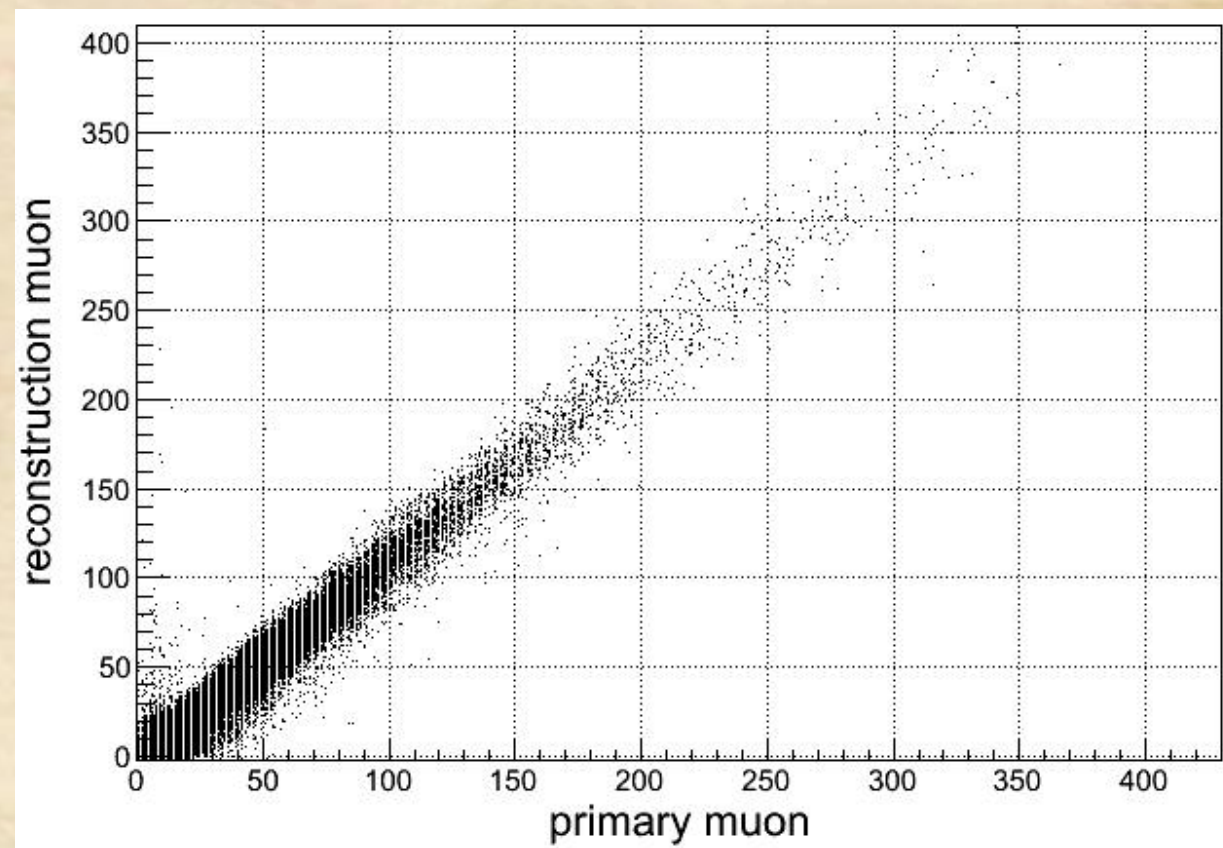
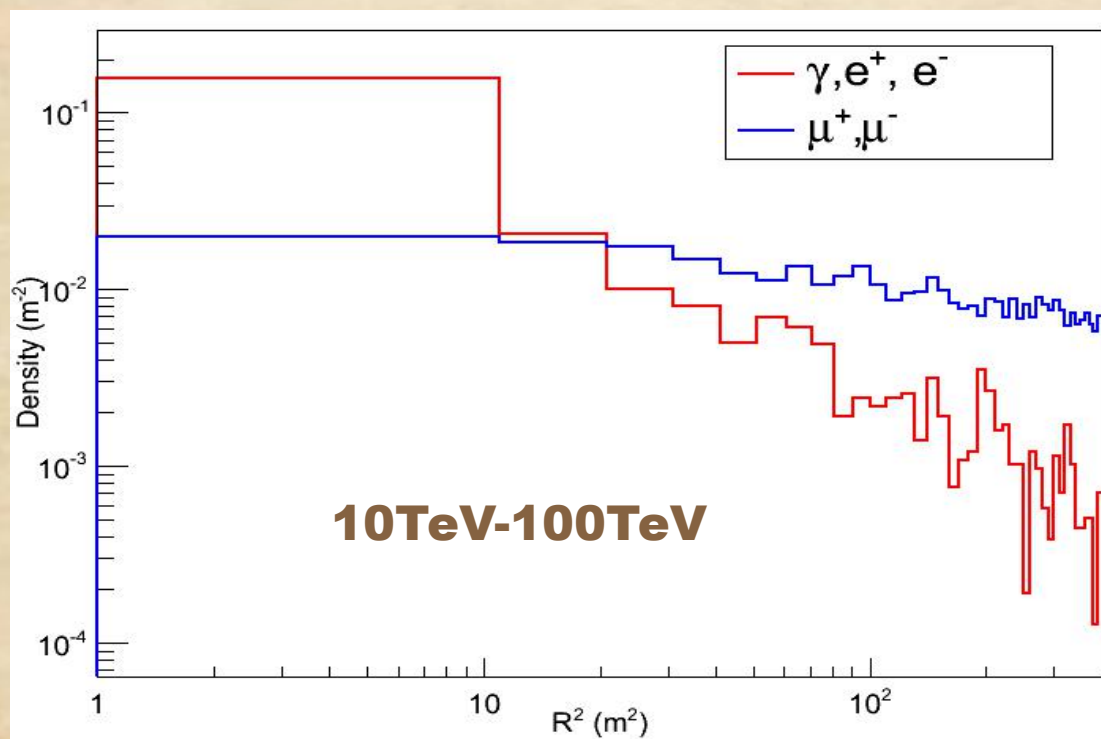
Reconstructed core



muon数目重建

考虑punch_through效应, 进行噪声过滤后

由光电子数得到打在MD上muon的个数



四、总结

1、基于快速模拟研究了KM2A触发模式：

空间窗口+时间窗口可以有效降低噪声hit影响，

建议触发条件： $T=200\text{ns}$, $R=100\text{m}$, $N_{\text{hit}}>4$

偶然符合噪声率： 8 Hz

预期触发事例率： $8+\text{ kHz}$

伽马射线触发阈能： 4 TeV

2、基于快速模拟和上述触发条件，建立了重建程序：

整个程序采用模块化设计，方面以后替换和增加新的算法；

现包含噪声过滤、平面和锥面拟合方向，4种芯位重建算法， u 估计，未来将增加能量重建等其它物理量。

未来也可以方便适应正式的模拟程序。