WFCTA阵列及数据处理

尹丽巧

中国科学院高能物理研究所

yinlq@ihep.ac.cn

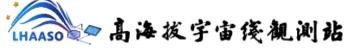
2024年8月4日-11日, 云南大学, 昆明

















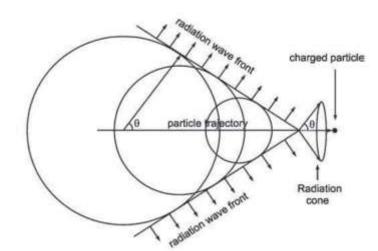




当带电粒子的速度超过了光在介质中的速度时,会辐射出光子,称之为切伦科夫光。

带电粒子产生契伦科夫光阈值
$$E_{th} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-1/n^2}}$$

契伦科夫光的辐射角 $\cos \theta = 1/\beta n$





Particle threshold energies in MeV for the production of Cherenkov photons in media (Cherenkov radiators) of different index of refraction

Medium	Index of refraction (n)	Particle threshold energy in MeV ^a		
		Electron ^b	$Muon^c$	Proton ^d
Air	1.00027712 ^e	21.2	4380.9	38925.9
Silica aerogelf	1.05	1.16	240.7	2139.0
Water	1.332	0.263	54.3	482.1
Glass ^g	1.47	0.186	38.5	341.9
Plastic ^h	1.52	0.167	34.6	307.6
Ceramic ⁱ	2.1	0.070	14.5	128.7
Diamond	2.4	0.051	10.6	93.9

契伦科夫光的光产额

$$\frac{dN}{dl} = 2\pi\alpha z^2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) \sin^2 \theta$$

$$\frac{dN}{dl} = 2(3.14)(.007297)(1)^{2} \left(\frac{1}{4 \times 10^{-5} \text{cm}} - \frac{1}{7 \times 10^{-5} \text{cm}} \right) \sin^{2}\theta$$
$$= 490 \sin^{2}\theta \text{ cm}^{-1}$$



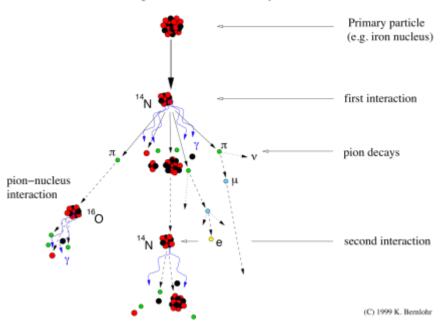




大气的折射率随高度的变化:

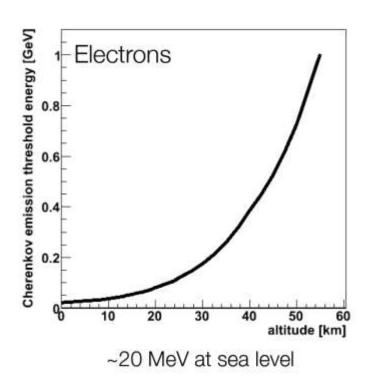
产生切伦科夫光阈值随高度的变化:

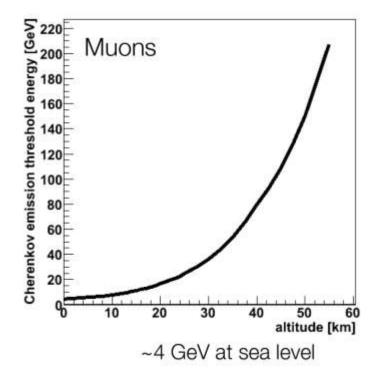
Development of cosmic-ray air showers



$$n = 1 + 0.000283 \ \rho(h)/\rho(0)$$

$$E_{th} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - 1/n^2}}$$









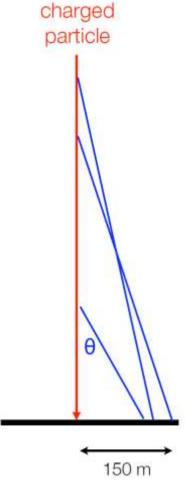


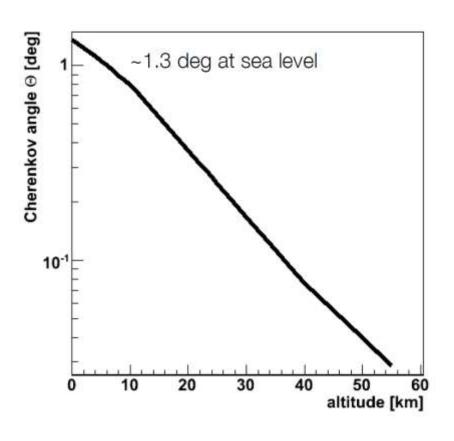
大气的折射率随高度的变化:

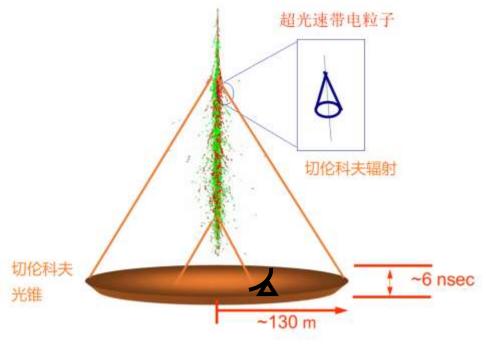
$$n = 1 + 0.000283 \ \rho(h)/\rho(0)$$

产生切伦科夫光散射角随高度的变化:

$$\cos \theta = 1/\beta n$$





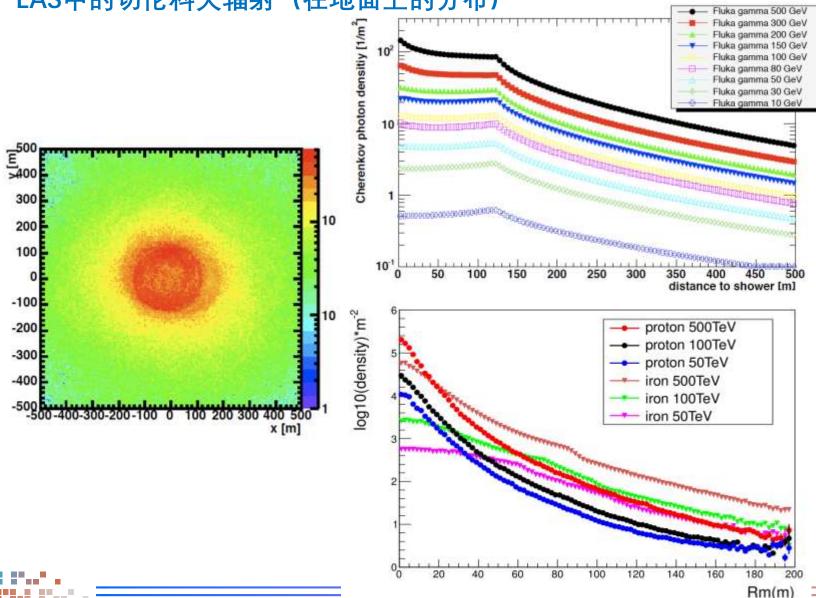








EAS中的切伦科夫辐射(在地面上的分布)



2000m a.s.l 观测平面上,不同能量 的原初gamma光子产生的EAS中切 伦科夫光子横向分布.

> 望远镜与簇射的距离影响探 测到的光子数!

4400m a.s.l 观测平面上,不同能量 的原初核子产生的EAS中切伦科夫光 子横向分布.











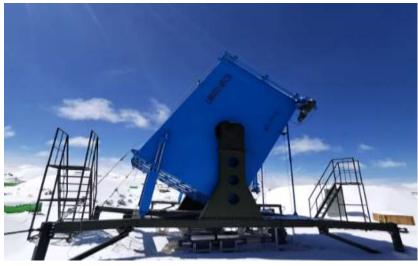


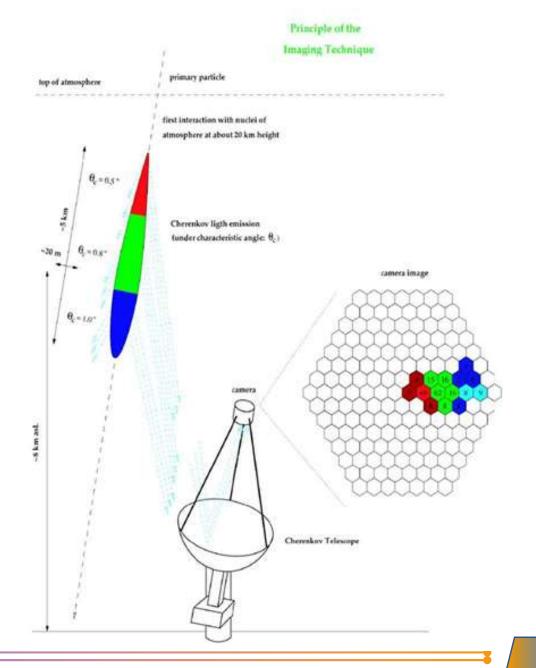


LHAASO · 高海拔宇宙後観測站

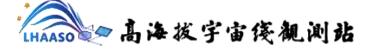
1. 切伦科夫成像原理

- 一般的大气切伦科夫成像望远镜的关键部分即反射 镜和光电器件组成的成像探测。
- 海拔越低位置的位置, Cherenkov 光的发射角越大。
- 望远镜的像反映了簇射的纵向发展。
- 通过分析切伦科夫像的特征,可以重建簇射极大位置(Xmax)、能量等。
- 切伦科夫光的波长主要在紫外波段,因此只能晴朗的夜晚工作。











2. WFCTA 构成系统

◆ 望远镜主体

¼海运集装箱(4.4m×3.26m×3.27m), 便于移动和调整指向。

◆ 光收集系统

由镀铝球面镜组成,20面整镜4面半镜,接收面积5 m²。 反射切伦科夫光子并聚焦至成像探头。

◆ 成像探头

由32×32 的SiPM组成,将光信号转换为电信号; 每个SiPM前安装光收集器,增加对光子的手机效率; 单个像素0.5°,总视场16°×16°(PMT);

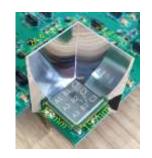
石英玻璃: 用于对相机实行密闭, 以阻止灰尘进入。















ASO ··· 高海拔宇宙後観測站



◆ 电子学系统

信号处理与读出

◆ 电源系统

提供望远镜工作所需的各种电源 SiPM高压电源、电子学低压电源、散热系统······

◆ 慢控和监控系统

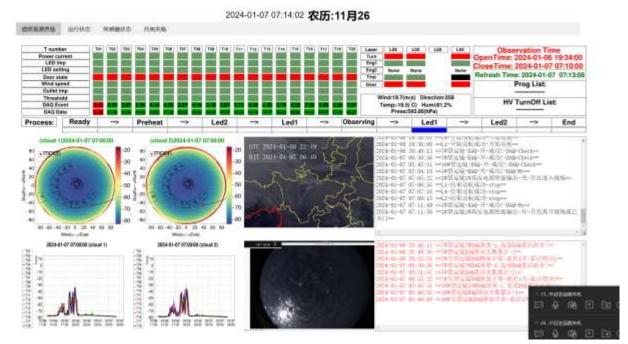
远程控制和检测,包括门开关、电源开关、温度、 高压、电流、天气、月亮位置······

◆ 标定系统

LED:对望远镜成像探头的标定。

激光标定:大气透明度检测。







_

3. WFCTA 物理目标



主要物理目标:宇宙线分成分能谱的测量

与KM2A,WCDA联合观测,芯位,方向可以直接从KM2A,WCDA获取。 18台望远镜,分别指向不同的方向,形成连续的视场;有效的减少契伦科 夫光子的泄漏,大大提高有效视场的范围。

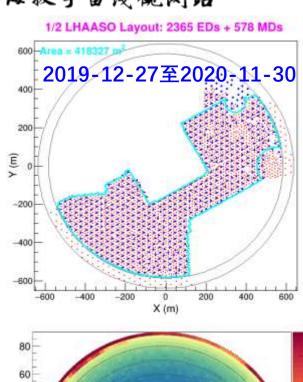


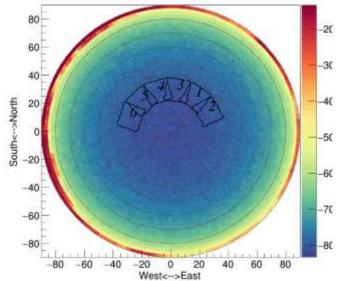




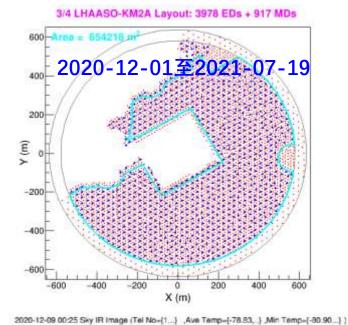
HAASO A 高海拔宇宙後観測站

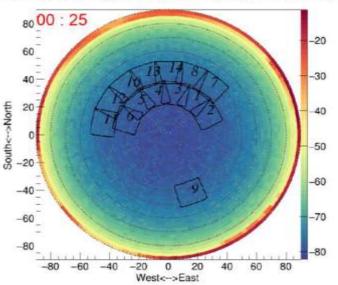




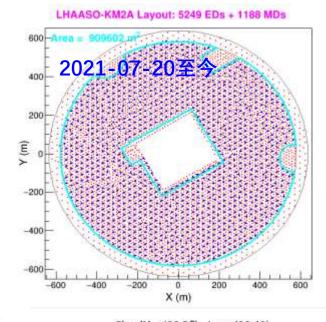


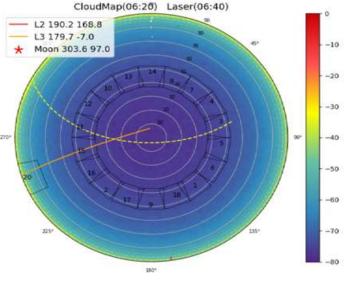
2019-10至2020-05











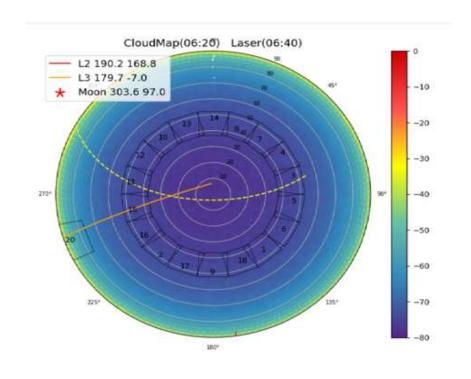
2021-10至2023-05



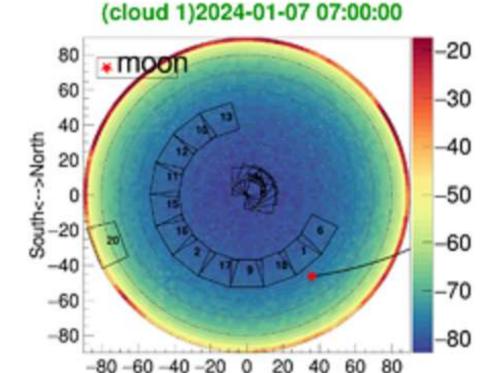


AASO A A A 接 字 宙 後 観 測 站





- 2021-10至2022-05,除阵列位置外,观测与之前相同。用于观测宇宙线轻成分能谱!
- 2022-10至2023-05,在镜筒内添加遮光板,减 小10PeV以上探测器的饱和效应。用于观测宇 宙线高能重成分能谱!



West<-->East

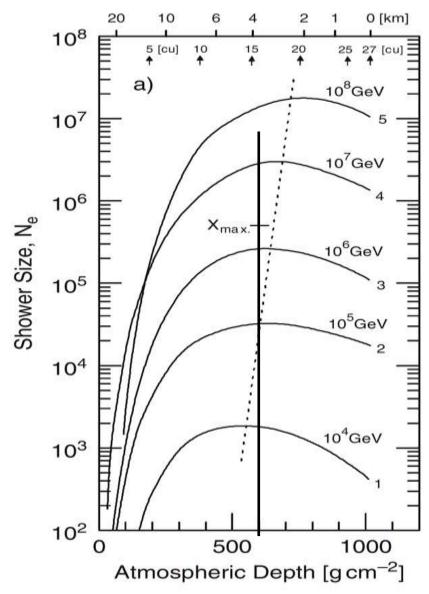
• 2023-10至2024-05,6台望远镜调整至进垂直观测,并拆除遮光板,降低分析阈能至百TeV以下。用于观测宇宙线低能分成分能谱!





為海拔宇宙後観測站





为什么不同的望远镜指向可以测量不同能段的宇宙线?

根本原因在于不同指向测量到的簇射所经历的大气厚度不同!

- · 望远镜仰角90°时,大气深度600 g/cm²,100TeV的质子簇射极 大在此附近;
- · 望远镜仰角45°时,大气深度850 g/cm²,100PeV的质子簇射极 大在此附近;
- 而当我们想要测量铁核能谱时,也需要对簇射所经历的大气深度 进行考虑!

值得注意的是,切伦科夫成像测量需要Xmax在观测平面之上!

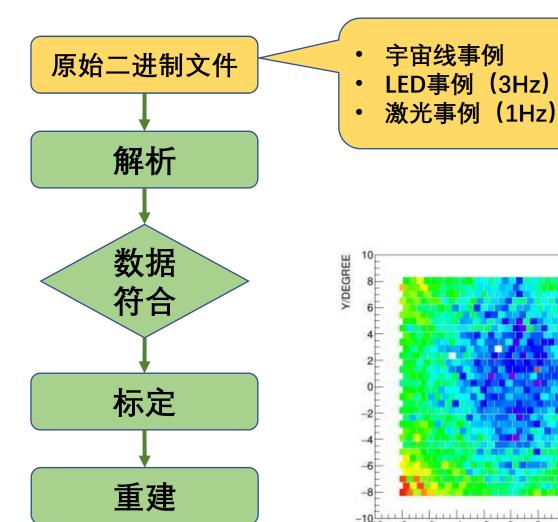


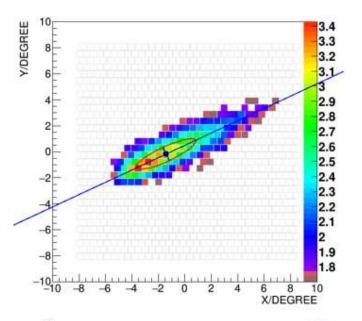


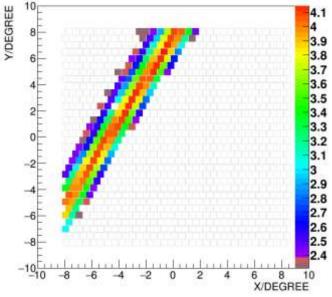


LHAASO · 高海拔宇宙後観測站

4. WFCTA 数据处理流程







3.14 3.12

3.08 3.06 3.04

3.02

2.98 2.96

2.94

X/DEGREE

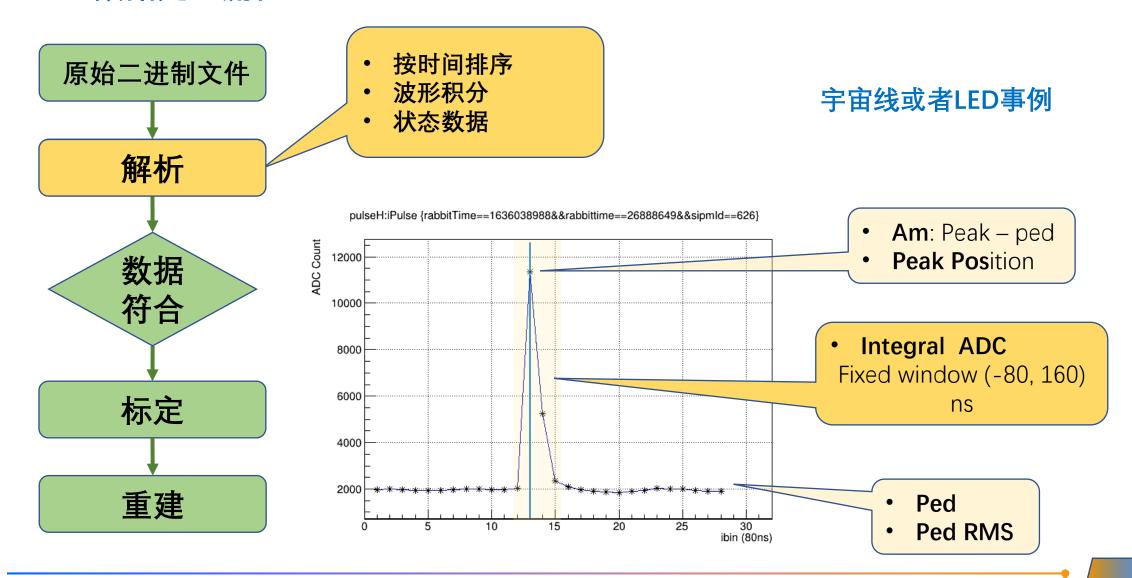




LHAASO · 高海拔宇宙後観測站



4. WFCTA 数据处理流程

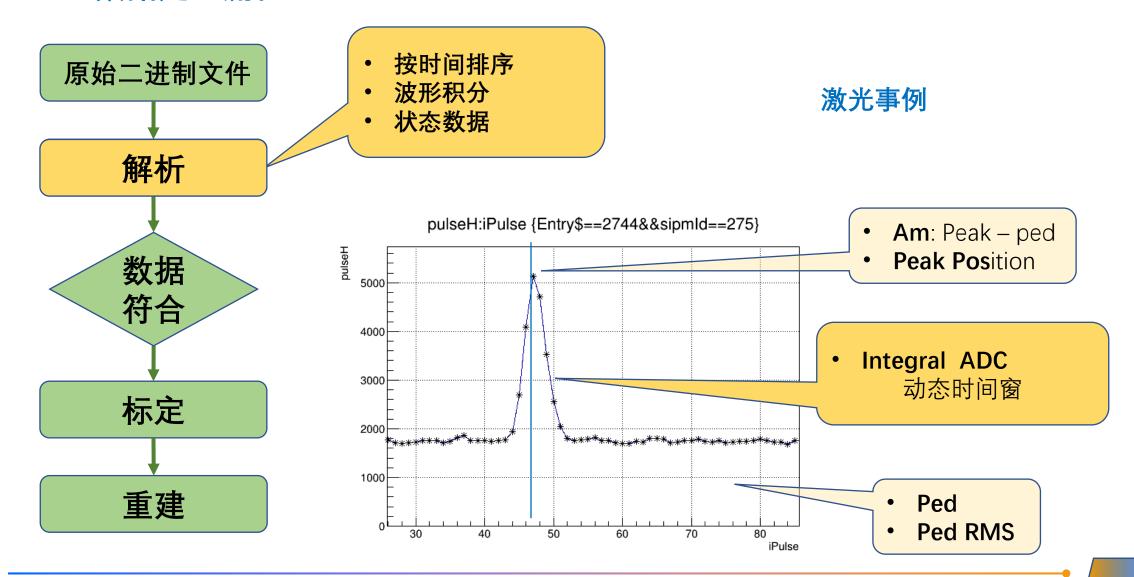




LHAASO ·· 高海拔宇宙後観測站



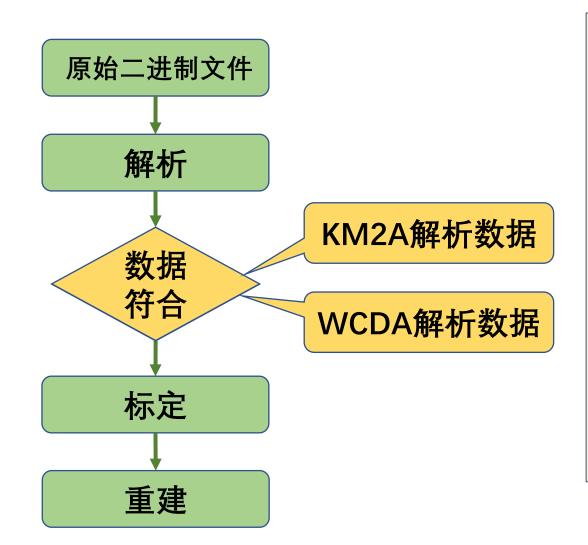
4. WFCTA 数据处理流程







4. WFCTA 数据处理流程



◆相对独立的触发系统和数据采集系统

WFCTA: ~150GB/night

~100files

KM2A: ~0.5TB/night

~2000files

WCDA: ~2TB/night

~2000files

◆ 同一小白兔时钟

先产生数据的时间索引,找到WFCTA事例触发时间±5us内的KM2A、WCDA事例,形成符合索引,根据符合索引重新组装联合观测事例。



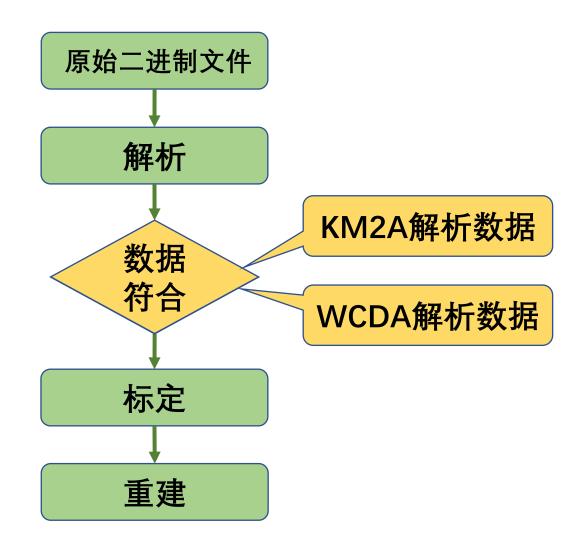


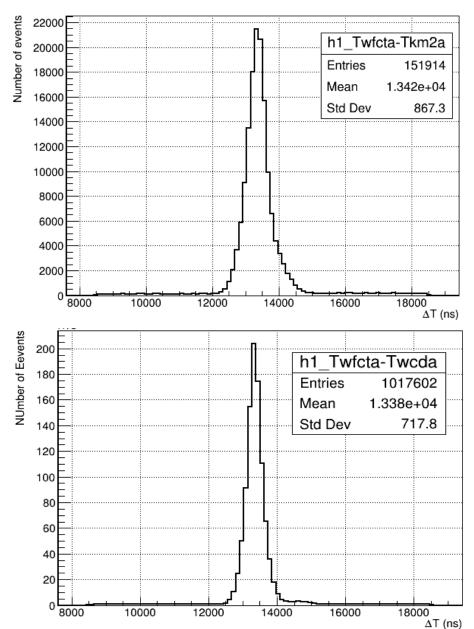


LHAASO · 高海拔宇宙後観測站



4. WFCTA 数据处理流程









三. WFCTA标定

- 参考文献:
- LED标定文章: Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1021 (2022) 165824
- 激光标定文章: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 1057 (2023) 168759
- 星光标定望远镜指向文章: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 1056 (2023) 168662

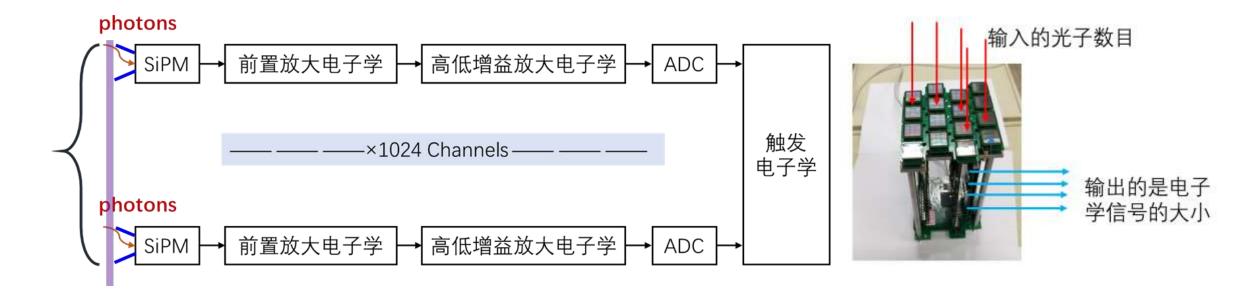






1. SiPM相机的绝对光子数标定

因为WFCTA的主要任务之一是对EAS的原初能量进行重建,那么得到SiPM相机所记录下来的总光子数则至关重要。



- SiPM相机标定工作,即标定相机的光子测量系数:一个光子对应多少电子学ADCcount
- 重点,难点:精确、实时得到每个像素上的光子数,18台×1024像素



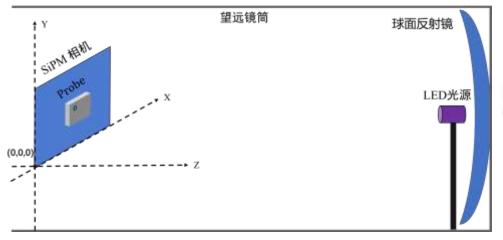


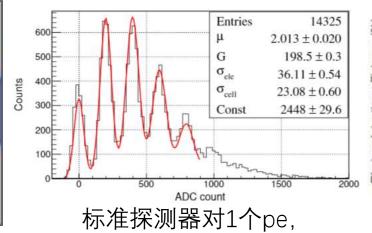
LHAASO - 高海拔宇宙後観測站

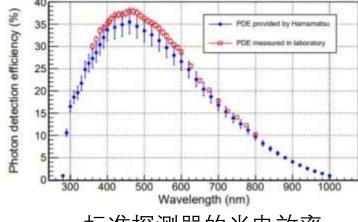
测量方案

- 用一个发光稳定的LED光照亮SiPM相机
- 用一个经过标定的标准探测器来测量SiPM相机每一处的LED光子数(扫描)

8/8

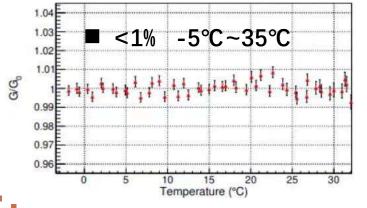


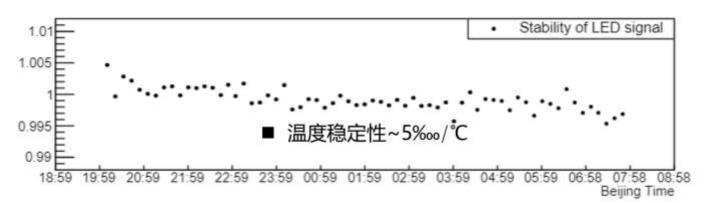




2个pe·····5个pe的响应

标准探测器的光电效率







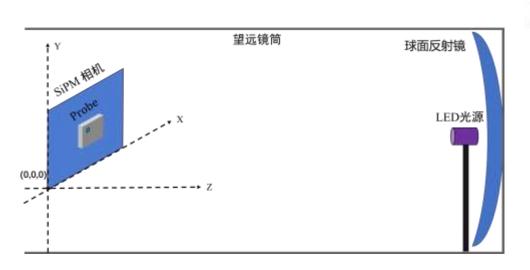


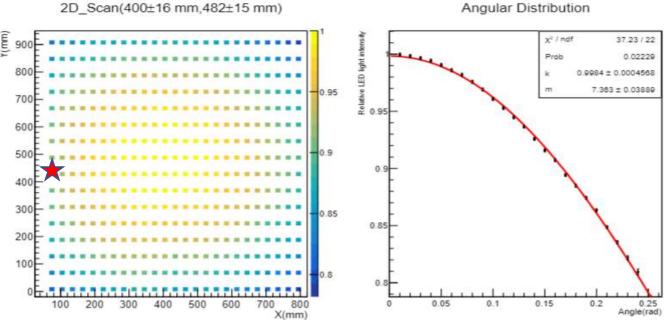


AASO A L 海拔宇宙後観測站

_

测量方案





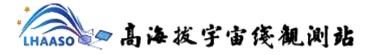
标准探测器所测量到的LED光子在相机平面上的分布

LED光源在SiPM相机表面光分布规律: cos^m_{θ} 其中, θ 为扫描平面某一点到LED光源中心的角距像素内收到的LED光子数N: $\rho_{LED\ ch} \times A_{ch}$ 绝对增益的获得:

$$F_{ph2S_ch} = rac{S_{LED_ch}}{
ho_{LED_ch} imes A_{ch}} (ADC count/ph)$$
ADC \longrightarrow 光子

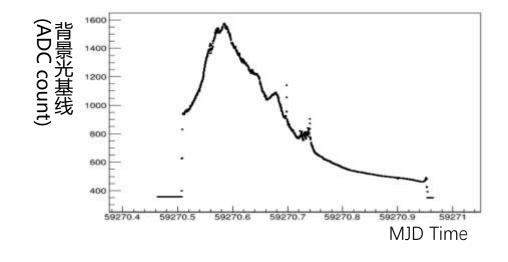


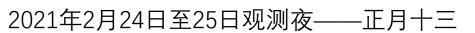


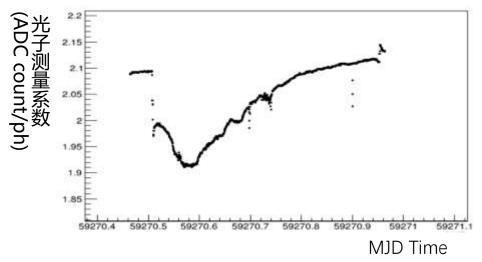


绝对增益的实时标定

- SiPM相机性能(增益、光探测效率)受温度、背景光、工作电压影响;
- 以LED作为稳定标准光源,在WFCTA观测期间实时标定得到的相机光子测量系数 F_{ph2S_ch} ,可以实时反映相机性能变化、使切伦科夫光强度测量结果不受相机性能变化影响。
- WFCTA观测期间,LED光源以3Hz频率照射SiPM相机;
- WFCTA观测结束后,每30s对SiPM相机进行一次绝对增益的标定,计算SiPM相机单像素光子测量系数 F_{ph2S_ch}

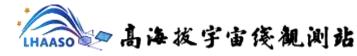






■ LED光源对相机的标定可以实时反映背景光对相机的影响。

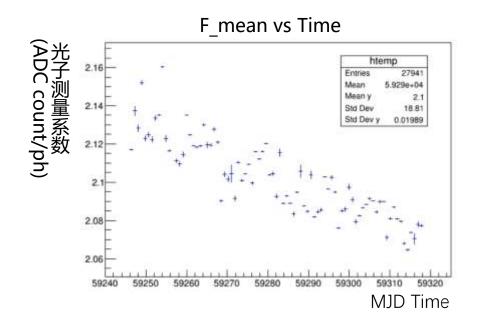


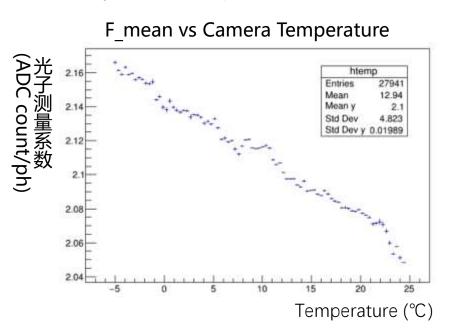


_ ____

相机标定系数长时间稳定性变化

- 数据来源: 2021年2月1日至2021年4月17日——T02
- 数据筛选条件: 夜晚、关门、Camera平均标定系数

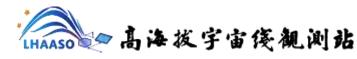




备注: F_mean —— Camera 平均光子测量标定系数

■ Camera光子测量系数随时间的变化主要来源于Camera温度效应, 0.19%/℃

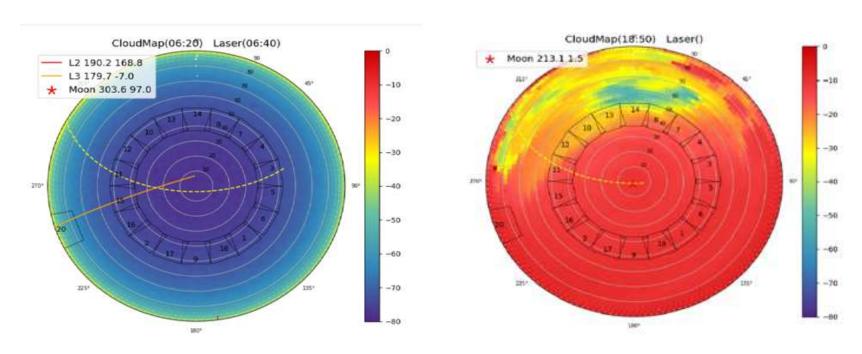






- 通过一颗绝对标定的LED光源,实现了从石英玻璃到ADC输出信号的光子数的标定。
- 望远镜的反射镜的反射效率如何标定?
- 作为探测器一部分的大气,如何进行标定?

激光标定系统



红外测温仪对天气状况做定性的监测





🧽 高海拔宇宙後観測站



光子在大气中的散射和吸收

■ **瑞利散射**: 当光子的波长大于大气分子的尺度时,大气分子对光子造成的散射。其传播系数是波长的函数

$$T_{Rayl}(\lambda) = exp(-\frac{I(\theta, h_1, h_2)}{x_R}(\frac{400nm}{\lambda})^4)$$

其中 $I(\theta, h_1, h_2)$ 是从 h_1 点传播到 h_2 点的大气厚度, $x_R = 2970g/cm^2$ 是波长为 400nm 的光子发生瑞利散射的平均自由程。

■相位函数(散射角的分布): $1 + cos^2(\theta)$

■臭氧的吸收:

主要发生在大于 10km 的高空。在这个过程中基本所有波长小于 290nm 的光子都被臭氧层所吸收。







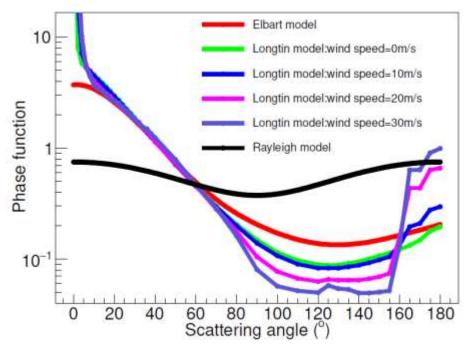
HAASO ··· 高海拔宇宙後観測站

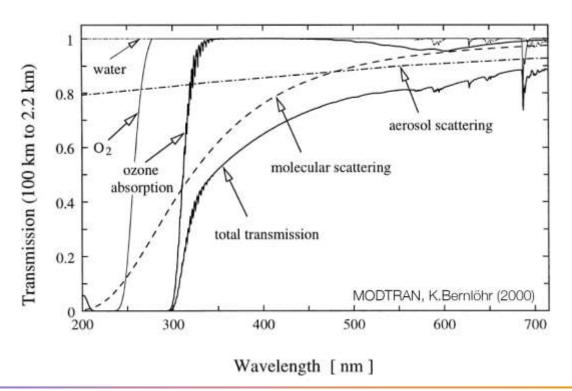


■**气溶胶散射**:光子在大气中传播时还受到与大小类似于光子波长的微尘的散射,称之为气溶胶散射。

□ 相位函数(散射角分布)如左图。

大气中的气溶胶受天气影响大,变化快,对光子的散射和吸收产生较大的影响!





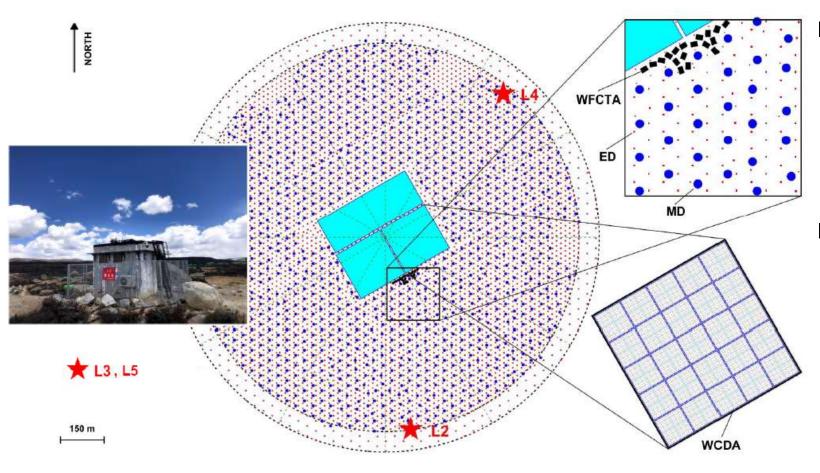




LHAASO ·· 高海拔宇宙後観測站



激光标定系统介绍



氮分子激光标定站址:

- L2 (392 米)、L4 (567米)与L5 (1023米)
- 氮分子激光器, 波长337.1 nm

■ Nd:YAG激光标定站址:

- L1 (可移动式) 与 L3 (1023米)
- Nd:YAG激光光路,波长355 nm





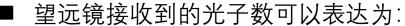


LHAASO - 高海拔宇宙後観測站



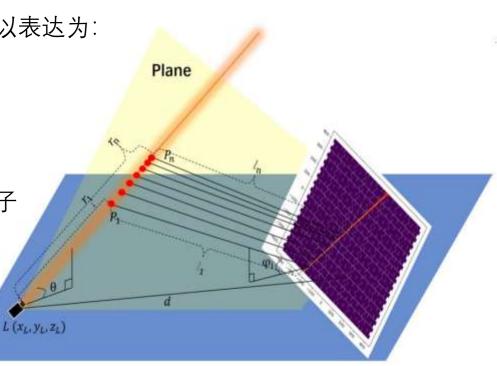
激光探测原理

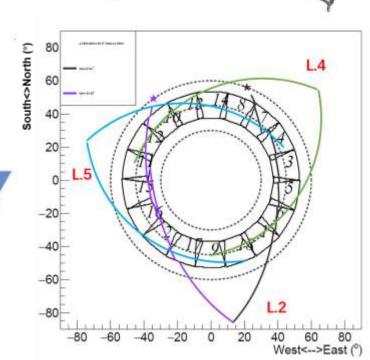
- 激光的发射光强为I₀,经过LL距离的传播到达散射光子 开始进入望远镜视场,此时散射高度为h;
- 散射后的光子传播LT距离之后到达望远镜,经过反射 镜聚焦成像;



 $I = I_0 e^{-\alpha \cdot ll} S(\delta) e^{-\alpha \cdot lt}$ α是消光系数 $S(\delta)$ 是散射相函数

■ 当没有气溶胶时,接受光子 数可由瑞利散射计算。



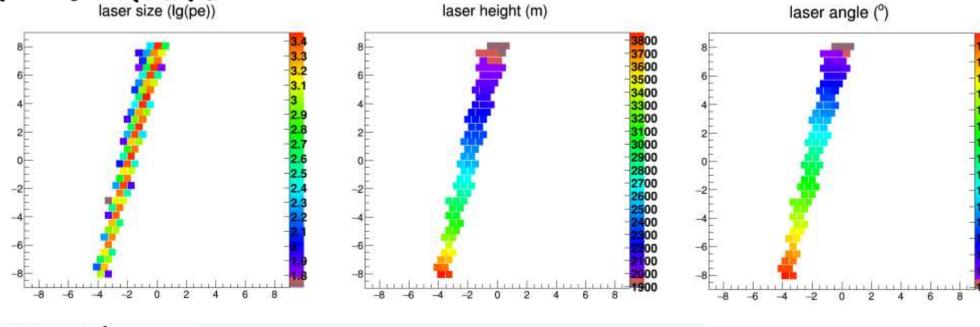


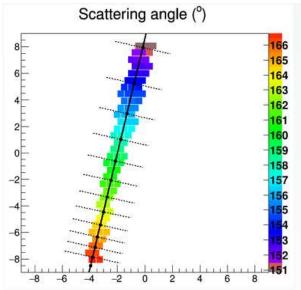


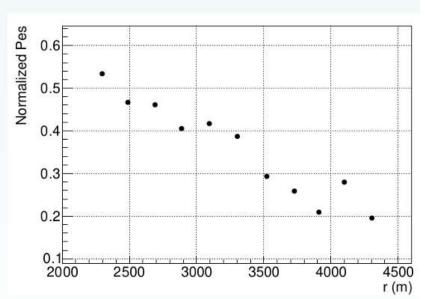


LHAASO 高海拔宇宙後観測站 laser size (lg(pe))









- L5激光器在T04上的激光径迹成像
- 通过光子数随传播距离的变化, 若没有气溶胶时,可通过瑞利散 射得到大气的消光系数。



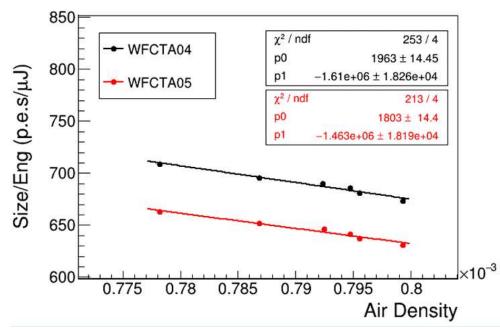


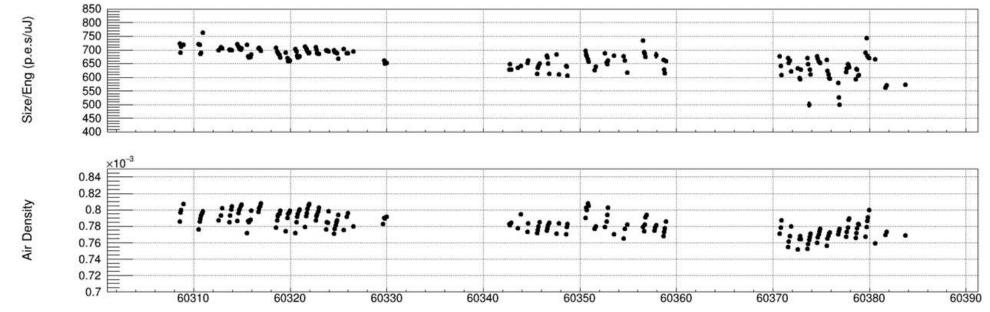


AASO A 高海拔宇宙後観測站



- 右图是L5激光器在T04和T05上的激光径迹的Size随大 气密度的变化,若没有气溶胶时,可通过瑞利散射标 定两台望远镜之间的相对增益。
- 通过没有气溶胶时测量的信号,可分析研究气溶胶的 衰减长度和散射角分布函数。
- 目前相关分析工作正在进行,有兴趣的老师同学加入!





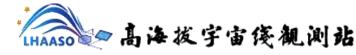




2. 望远镜绝对能量的标定

- 在最好的天气下进行,气溶胶散射可以忽略,只考虑瑞利散射! (难点)
- 可算出到达望远镜门口的光子数, 实现对望远镜绝对能量的标定;
- 可标定不同望远镜的相对增益;
- 测量气溶胶的性质,比如气溶胶的衰减长度和散射角分布函数;
- 监测WFCTA望远镜视场内的大气状况。

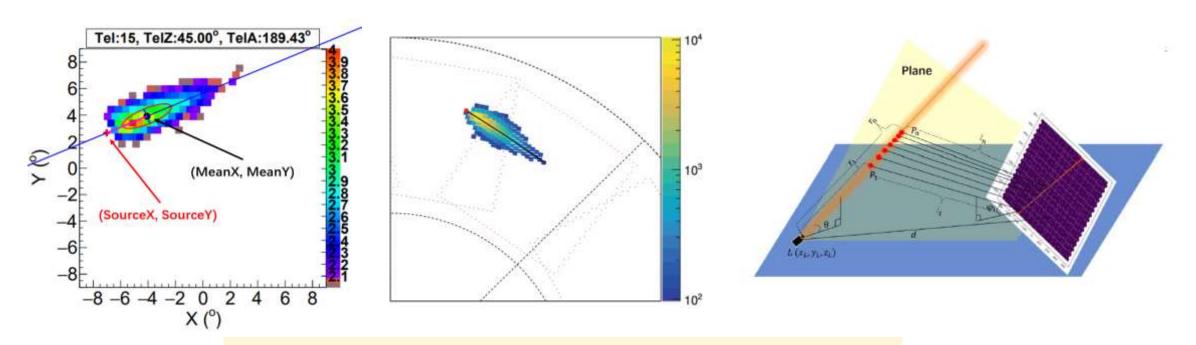






3. 望远镜的指向标定

- ■WFCTA的物理目标是宇宙线能谱的测量,而宇宙线基本是各向同性的,为什么要进行绝对指向的标定?
 - 将KM2A, WCDA重建的方向, 芯位转到望远镜焦平面上需要望远镜的指向。
 - 相邻望远镜视场的拼接需要望远镜的指向。
 - 激光绝对能量标定, 要计算出到达望远镜门口的光子数, 需要望远镜的指向。



星星不仅会眨眼睛、会说话; 还可以指引方向。



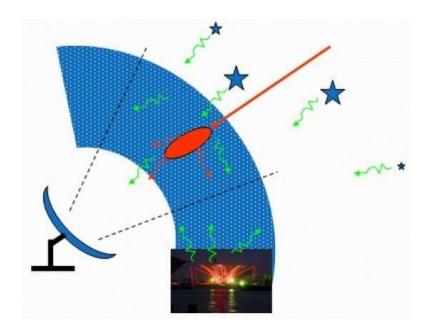


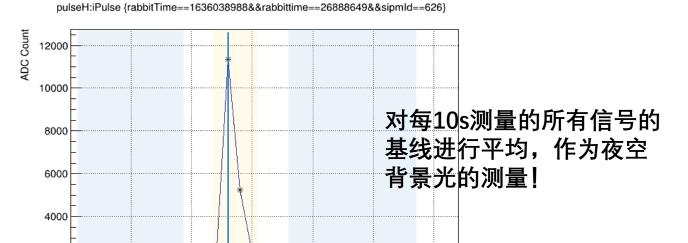


LHAASO 与海拔宇宙後観測站

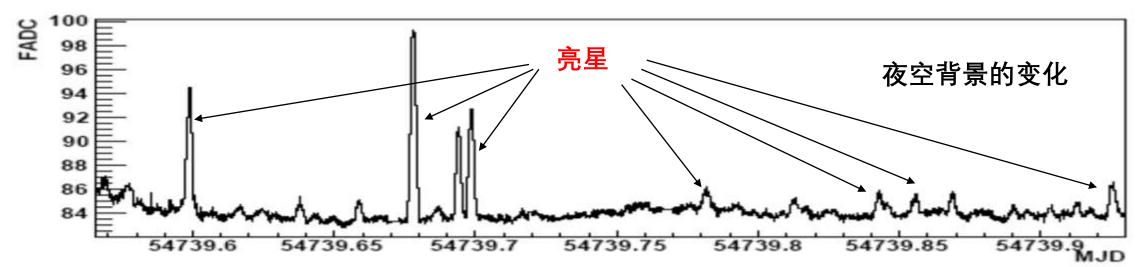


测量原理





ibin (80ns)









ASO ··· 高海拔宇宙後観測站

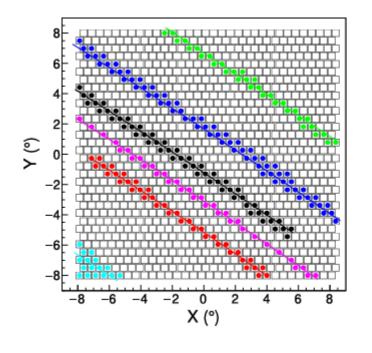


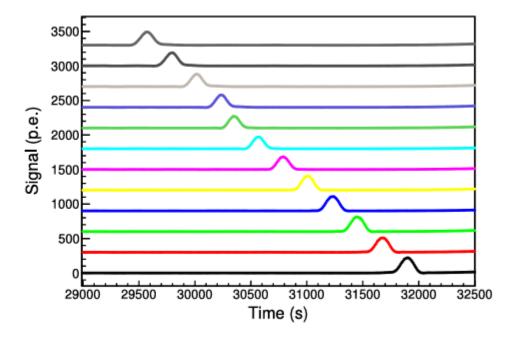
标定流程

- a) 找出峰值出现的时间, 并挑出孤立的星
- b) 在某个望远镜指向下,将峰值转到赤道坐标系
- c) 构造chi2, $(\sum (x_{star} x_{sipm})^2 + (y_{star} y_{sipm})^2)$
- d) 使chi2最小的望远镜指向即为望远镜的真实指向

TD1星表, 274nm, 位置精度高 TD1 - TD1 Stellar Ultraviolet Fluxes Catalog (nasa.gov)

星表中星的位值采用J1950标准 需要将J1950 转化为J当晚





(b)



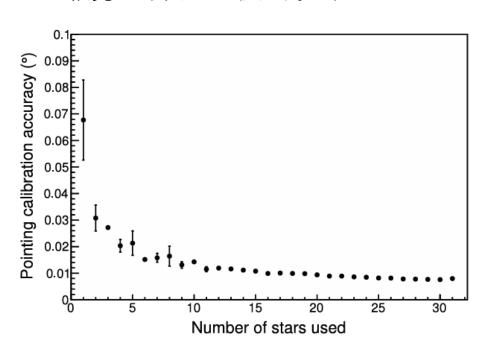


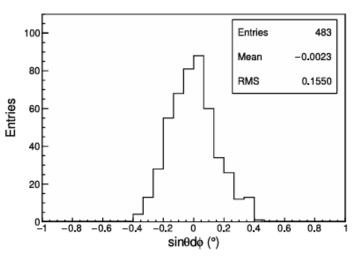
AASO A 高海拔宇宙後観測站

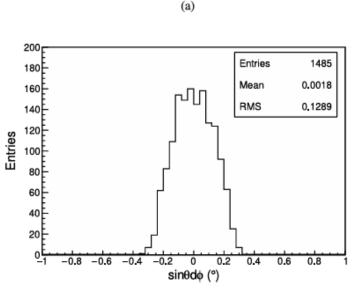


标定精度

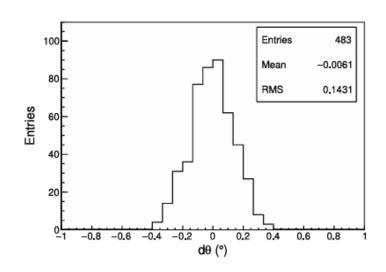
- 参与标定(拟合)的亮星个数越多, 标定结果越精确,指向精度<0.02°;
- 有上两图为使用20颗亮星拟合的精度, 下面两图为利用拟合指向计算其他73 颗亮星与其理论轨迹的差值。

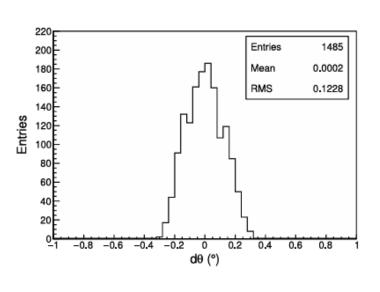






(c)





(b)







LHAASO · 高海拔宇宙後観測站



1478

-0.0000

0.0149

0.06

1478

-0.0000

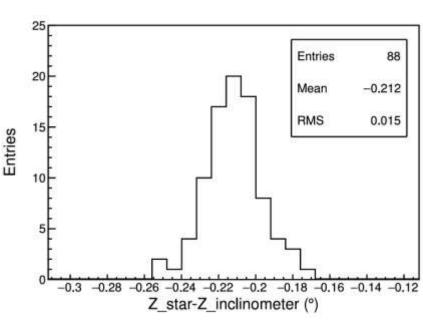
0.0197

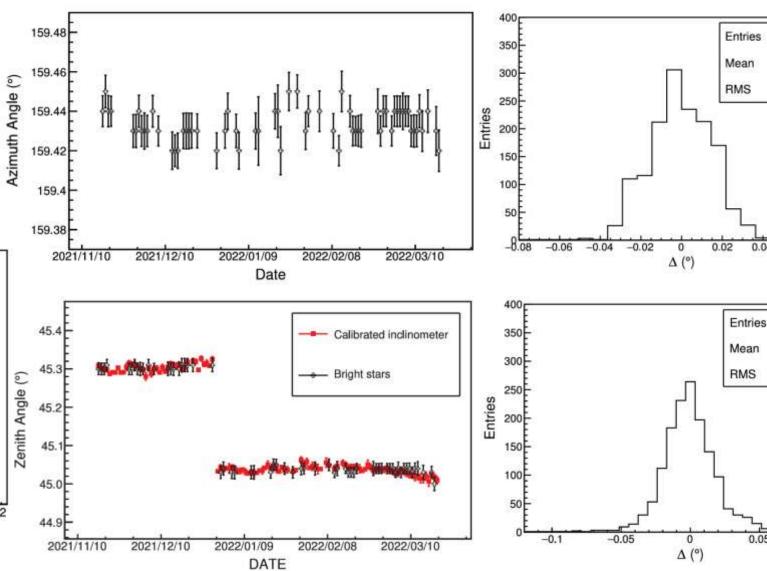
0.1

0.05

望远镜指向的长期监测

- 利用星光标定的长期精度均 在0.02°以内;
- 可将星光标定的结果传递给 倾角仪,实现实时测量。









四. WFCTA重建

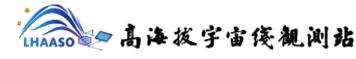
- 参考文献:
- WFCTA连续视场及能量重建文章: Radiation Detection Technology and Methods (2022) 6:544–557

https://doi.org/10.1007/s41605-022-00342-4

能量重建文章: Liping Wang et.al., PHYSICAL REVIEW D 107, 043036 (2023)









1. 图像清理

清理噪声管子

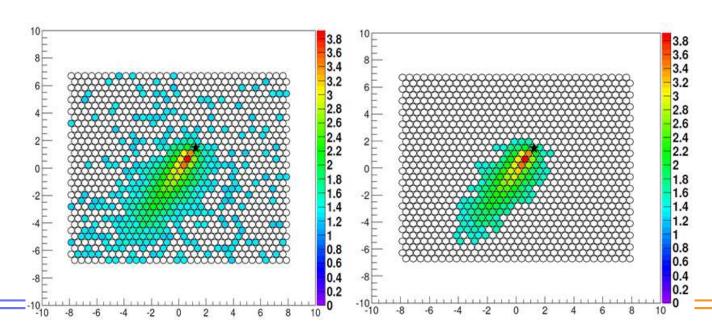
- 信号大小——小于50(或者100等)光电子的像素清除;
- 时间窗——最亮的像素(探测到的Npe最多的像素)着火时间为准,在其前后 320 ns内着火的像素认为是信号触发,不在这一时间窗口内的像素被清除

孤立的像素清理

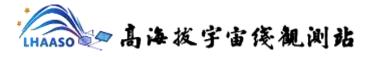
• 找到最亮的像素,以此为中心向外遍历所有的着火像素,与成团着火的管子没有任何连接的像素将

被清理掉

• 相邻着火管子数大于N





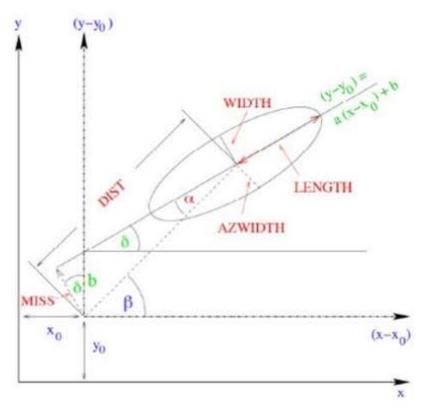


2. 图像参数化

Hillas 参数大致可以分为三类:

A. 对像的形状和亮度进行表述的参数

- 大小(Size):像中所包含的所有光子数
- 长度(LENGTH): 光子沿像的长轴分布的RMS
- 宽度(WIDTH): 光子沿像的短轴分布的RMS
- CONC(N): N 个最亮的管子中的光子数占总光子数的比例, 此量表征了像的紧密程度
- LEAKAGE: 像的最外圈的光子数占像中总光子数的比例



B. 依赖于所选参考点的参数 (IACT: 伽马源的位值; WFCTA: 簇射的到达方向)

• Alpha: 簇射的轴线与像的重心和参考点之间连线的夹角(IACT中用此参数进行背景估计)

• DIST:参考点到像的重心之间的距离, 与到望远镜的距离,与Xmax的位值相关

C. 依赖于参考方向的参数

δ:簇射的轴线(即像的长轴)和 焦平面x 轴的夹角





AASO A 高海拔宇宙後観測站

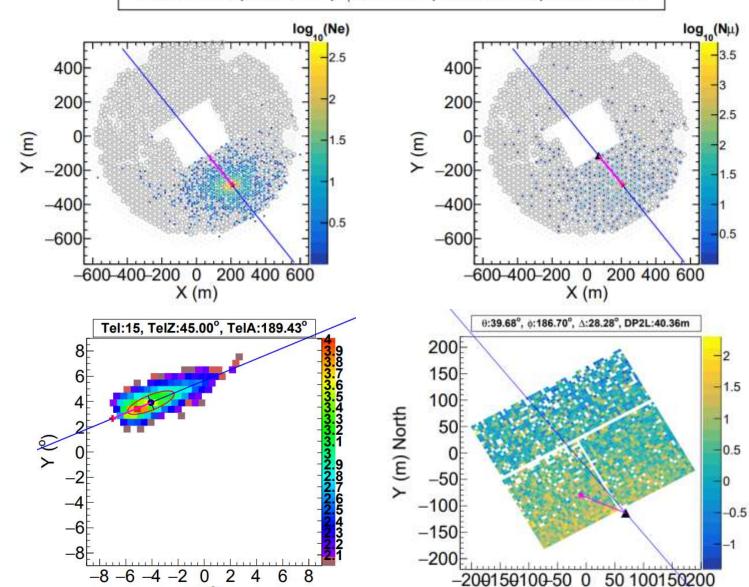
E:1761TeV, θ:42.88°, φ:179.57°, Ne:7159.4, Nu:6669.9

◆ 芯位落在KM2A的联合观测事例

- LHAASO 坐标系 X (东) and Y (北)
- **蓝线**: WFCTA重建的Shower-Detector-Plane(SDP即像的长轴) 与地面的绞线;
- 粉线: 望远镜的位置与芯位的连线, 芯位 由KM2A重建获得;
- 蓝线和粉线重合。

◆ 该联合观测事例在WCDA的测量

由于该事例是落在KM2A中,那么对于WCDA来讲属于芯外事例,因此WCDA重建芯位错误,蓝线和粉线不重合。





X (m) East





$$SIZE = \sum_{i} N_{k}$$

$$LENGTH = \sqrt{\frac{c_{xx} + 2a \cdot c_{xy} + a^{2} \cdot c_{yy}}{1 + a^{2}}}$$

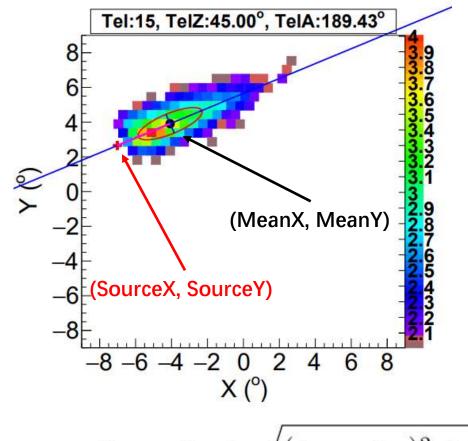
$$WIDTH = \sqrt{\frac{a^{2} \cdot c_{xx} - 2a \cdot c_{xy} + c_{yy}}{1 + a^{2}}}$$

$$DIST = \sqrt{(\overline{x} - x_{0})^{2} + (\overline{y} - y_{0})^{2}}$$

$$c_{xx} = \overline{(x - \overline{x})^{2}} = \overline{x^{2}} - \overline{x}^{2}$$

$$c_{yy} = \overline{(y - \overline{y})^{2}} = \overline{y^{2}} - \overline{y}^{2}$$

$$c_{xy} = \overline{(x - \overline{x}) \cdot (y - \overline{y})} = \overline{x \cdot y} - \overline{x} \cdot \overline{y}$$



$$a = tan\delta = \frac{c_{yy} - c_{xx} + \sqrt{(c_{yy} - c_{xx})^2 + 4c_{xy}^2}}{2c_{xy}}$$

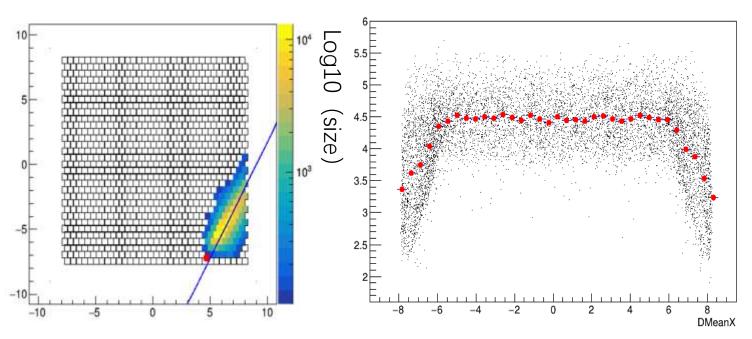
$$b = \overline{y} - y_0 - a \cdot (\overline{x} - x_0)$$

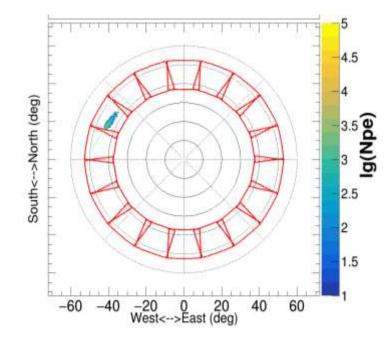




4. WFCTA连续视场的实现

- 完整切伦科夫像的观测是保证能量分辨率的基础
- 单台望远镜为了保证对奇伦科夫像的完整观测,需要牺牲视场+-5°以外的视场,损失实验的有效面积
- 多台望远镜组成的连续视场能够保证对切伦科夫像的完整观测。

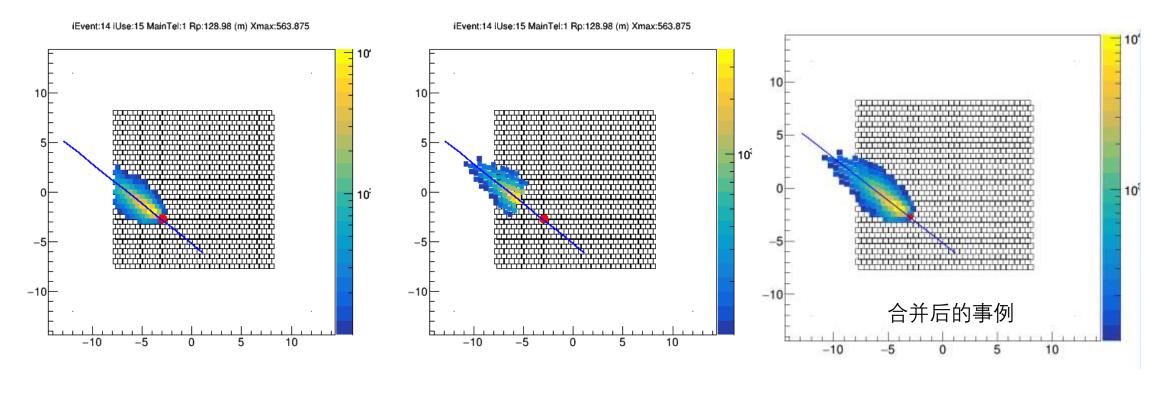












- 选取主望远镜: 最亮的管子所在的望远镜为主望远镜
- 根据望远镜的指向,将次望远镜的管子转到主望远镜的焦平面上。
- 重叠部分区域的SiPM权重为Npe/2, 非重叠部分区域的SiPM权重为Npe







LHAASO · 高海拔宇宙後観測站

htemp

Entries

Mean

Std Dev

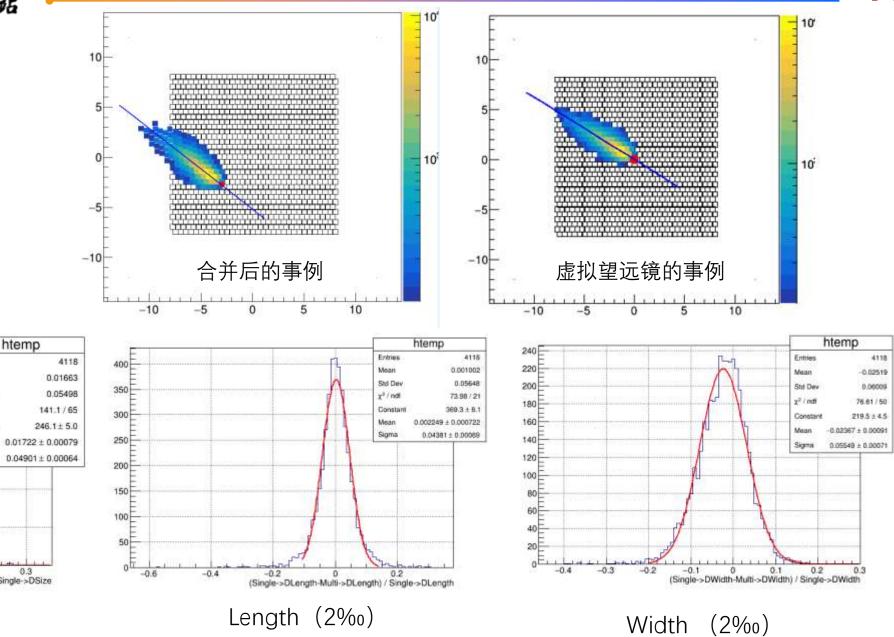
y2 / ndf

Constant

0 0.1 0.2 0.3 (Single->DSize-Multi->DSize) / Single->DSize

Size (2%)

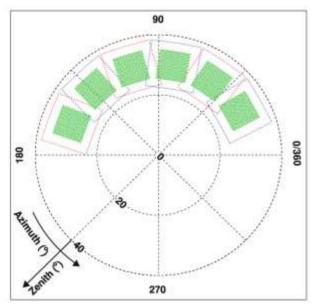
对合并像的检验

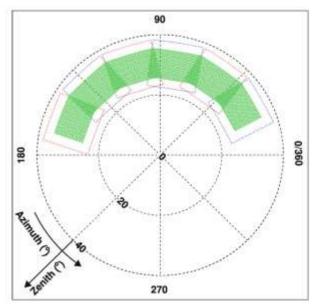


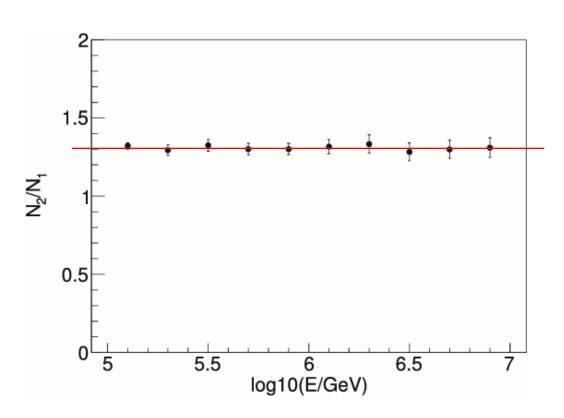




通过连续视场的实现,统计量可增加30%!







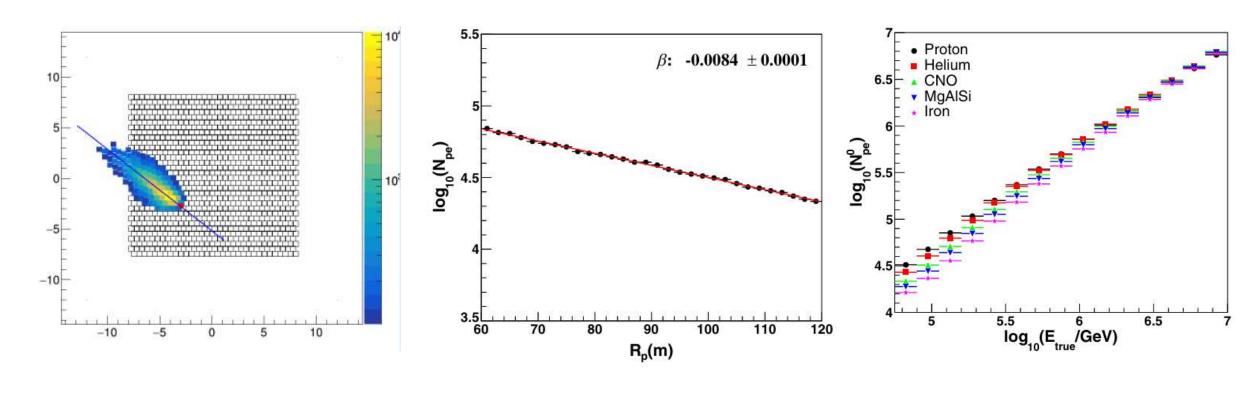






5. WFCTA能量重建

Size 与 簇射的原初能量相关,但是有Rp的依赖, 需进行Rp的修正。



此外,利用切伦科夫光子和缪子测量信息可以进行成分弱依赖的能量重建!在此不做介绍。

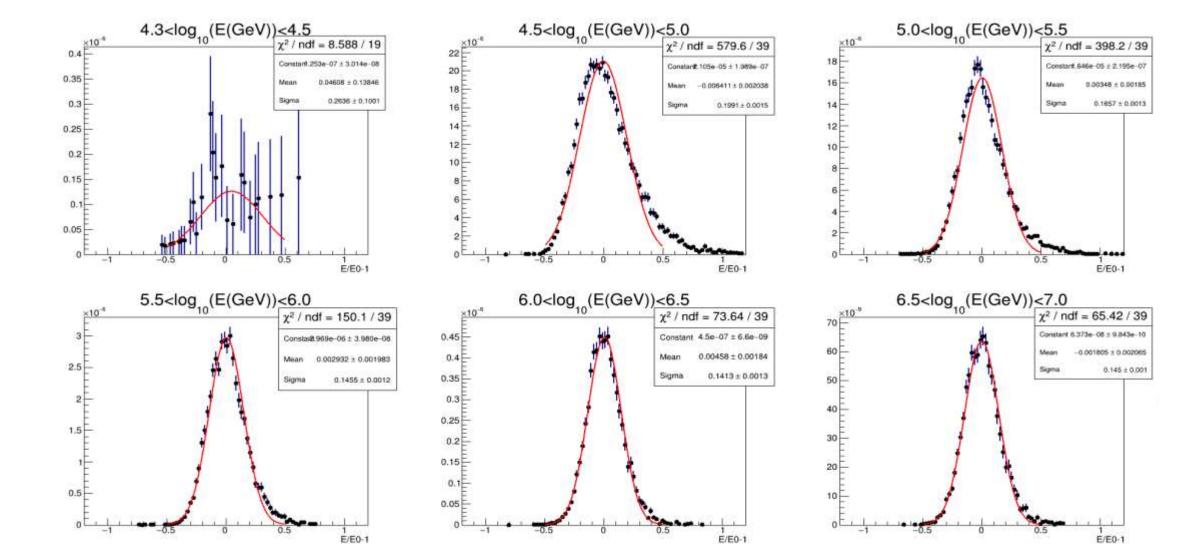






LHAASO 与海拔宇宙後観測站

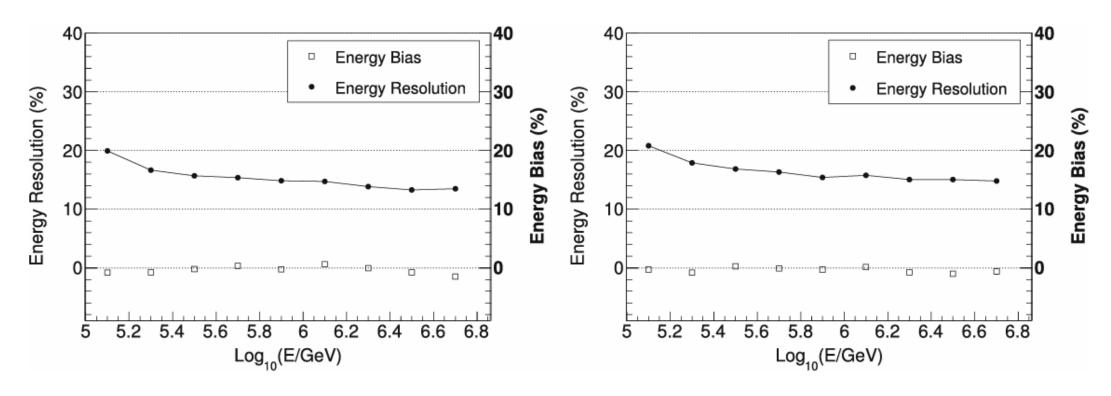








- ◆ 对于质子成分,利用切伦科夫像重建的能量偏差在±2%以内,分辨率为16%@>1PeV
- ◆ 望远镜阵列连续视场的实现并不影响WFCTA的能量重建!



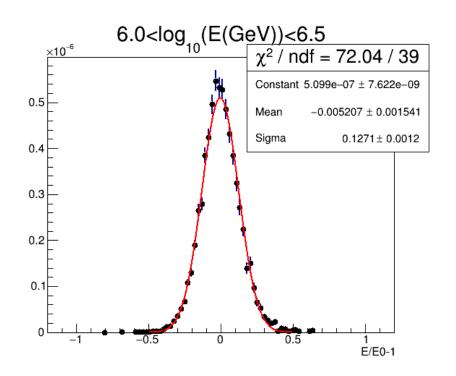




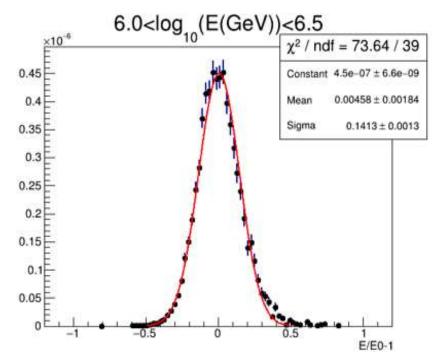


Rp 对能量分辨率的影响

◆ Rp是望远镜到簇射轴心的距离,但簇射的芯位和方向是由KM2A/WCDA重建获得的,因此地面阵列的芯位和方向精度会影响Rp的精度。



Rp分辨率: 3m Energy分辨率: 13%



Rp分辨率: 5m

Energy分辨率: 14%













LHAASO - 高海拔宇宙後観測站

1. 数据符合流程

◆ 相对独立的触发系统和数据采集系统

WFCTA: ~150GB/night

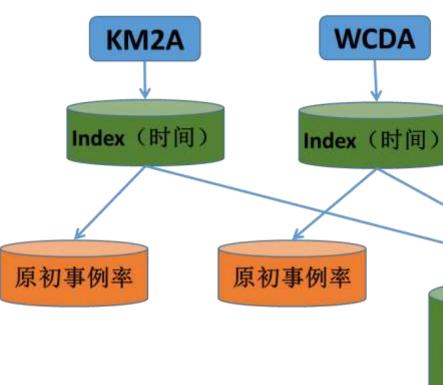
~100files

KM2A: ~0.5TB/night

~2000files

WCDA: ~2TB/night

~2000files



- ◆ 使用索引 (Index) 可以压缩符合时读取数据量,减小作业所需的内存和带宽。
- ◆ 根据索引检测KM2A和WCDA的原初事例率,判断探测器是否正常工作。

根据Index存贮Data,程序运 行时最多同时打开三个文件

Merge Index

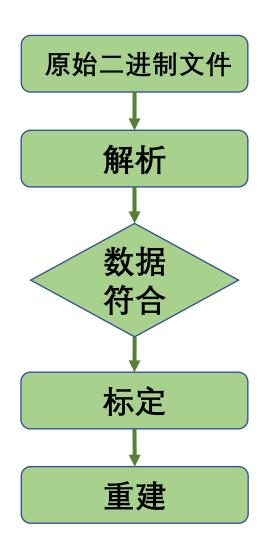
每个WFCTA事例对应的WCDA和KM2A的文件名和事例号

WFCTA





2. WFCTA数据格式变化



DAQ run No. Tel No. Local time (UTC+8) file No.

ES.42507.FULL.WFCTA06.20200211001749.014.dat

ES.42507.FULL.WFCTA06.20200211001749.014.event.root

ES.42507.FULL.WFCTA06.20200211001749.014.merge.root

ES.42507.FULL.WFCTA06.20200211001749.014.cal.root

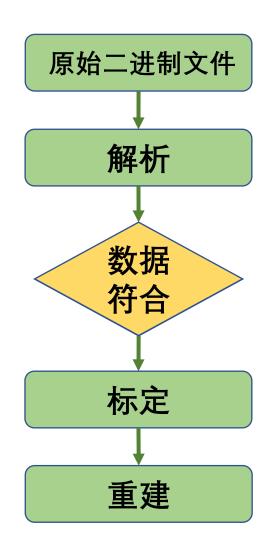
ES.42507.FULL.WFCTA06.20200211001749.014.rec.root





LHAASO - 高海拔宇宙後観測站

2. WFCTA数据格式变化



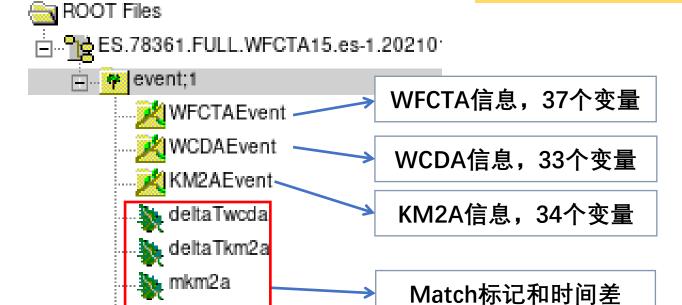
◆ 符合数据(WFCTA, KM2A, WCDA解析数据):

• 包含4个表征符合标记和符合时间差变量

mwcda 🗽

• 主要是3个探测器阵列的原初信息,例如WFCTA的高、低增益通道的ADC Count

对于科学用户无法直接使用!





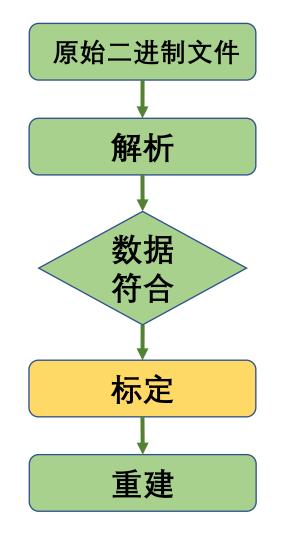




LHAASO - 高海拔宇宙後観測站

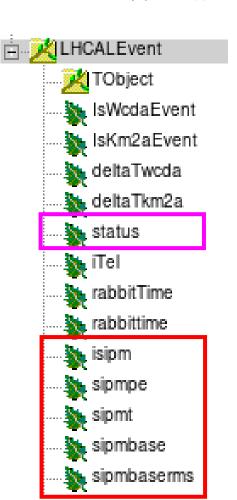
_

2. WFCTA数据格式变化



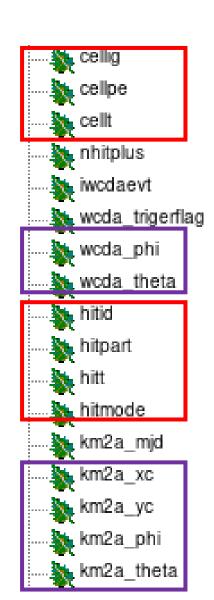
◆ 标定数据:

• 属于中间过程数据

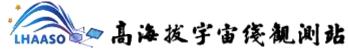


可用于发展重建算法等!

- · 主要包含三个探测器经过标 定之后,每个Hit的探测器编 号、光电子数或次级粒子数、 时间(红框),用于数据重 建;
- · Match标记和时间差(篮 框);
- Status:三个探测器的运行状态;
- 地面探测器的粗略重建几何 (紫框);

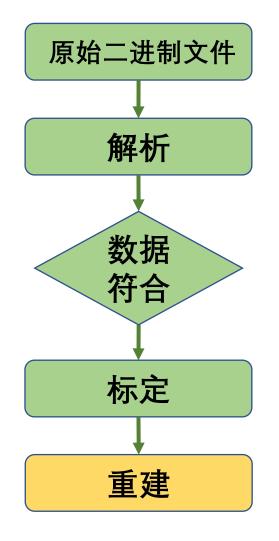






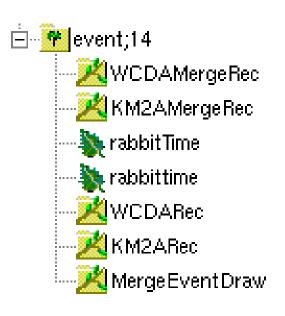


2. WFCTA数据格式变化



▶ 重建数据(WFCTA, KM2A, WCDA解析数据):

- 包含4个表征符合标记和符合时间差变量
- 主要是3个探测器阵列的原初信息,例如WFCTA的高、低增益通道的ADC Count
- 数据路径: /eos/lhaaso/rec/wfcta_merge/merge_wcda_km2a/V6.3
- /workfs2/lhaaso/wfctarec/Public_Lib/software/Read/Read.cc



利用WCDA的重建几何进行计算的 WFCTA相关信息

可用于能谱分析!

- 利用KM2A的重建几何进行计算的 WFCTA相关信息
- WCDA 重建信息;
- KM2A 重建信息;
- 三个子阵列的着火信号,用于画事例靶 图或二次重建。















🤛 高海拔宇宙後観測站

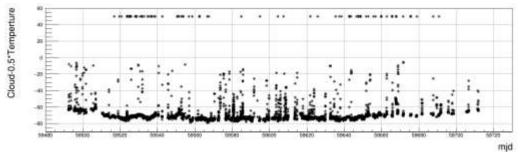


WFCTA的运行环境

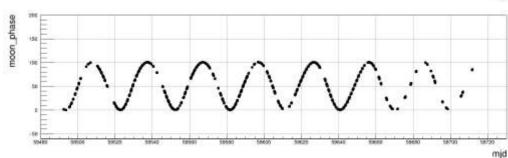
12 :status

: vector<float>

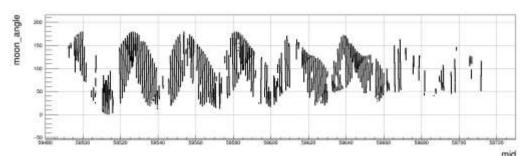
• 云天仪的红外亮温



月相



• 月亮与望远镜的夹角



hybrid event status, including:

- 0] Whether WFCTA open the door. 1 Yes, 0 no
- Whether temperature of WFCTA LED is stable. 1 Yes, 0 no
- [2] Whether DAQ of WFCTA is stable. 1 Yes, 0 no
- [3] Infrared brightness temperature by infrared camera 1#
- [4] Moon Phase. 100: full moon, 50: half moon.
- [5] The angle between moon and telescope's main axis.
- The elevation of the moon in the horizontal coordinate.
- [7] High voltage current of telescope (Ampere)
- [8] High voltage of telescope (Volt)
- [9] Atmospheric temperature by infrared camera 1#
- [10] Atmospheric temperature by meteorological tower
- [11] Atmospheric humidity by meteorological tower
- [12] wind speed by meteorological tower
- [13] Infrared brightness temperature by infrared camera 2#
- [14] Atmospheric temperature by infrared camera 2#
- [15] WCDA event rate, 1 Normal, 0 no
- [16] KM2A event rate, 1 Normal, 0 no
- [17] KM2A good list, 1 Yes, 0 no

不同的环境(例如背景光大小) 会造成分析的阈能不同!

因此,对于不同的分析需求使用不同的 筛选条件!



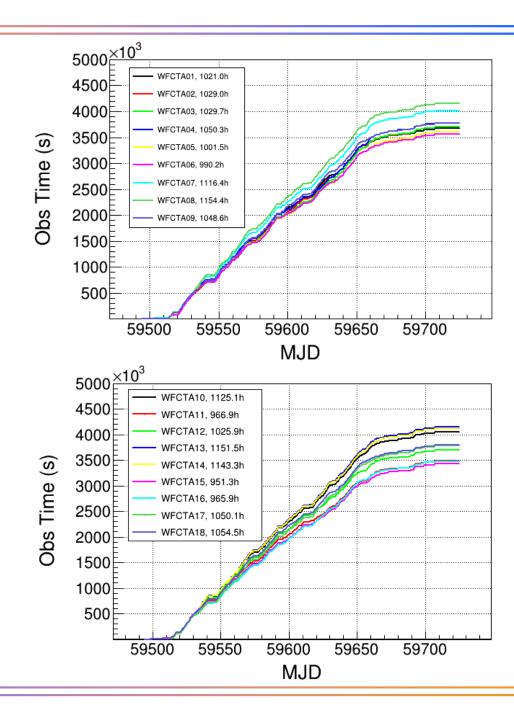


AASO A 高海拔宇宙後観測站



■ 望远镜的运行环境和状态挑选

- 云天仪 (<-65)
- DAQ
- 开关门
- 月亮与望远镜夹角(>30°)
- 高压电压>75V
- 高压电流<1.5A







≫ 高海拔宇宙後観測站



数据质量检查

- 1. 事例率
- 2. WFCTA的Size谱指数
- 3. WFCTA的Size阈值
- 4. WFCTA像的Length/Width
- 5. KM2A符合时间
- 6. WCDA符合时间
- 7. KM2A的符合效率
- 8. WCDA的符合效率
- 9. KM2A重建天顶角
- 10. WCDA重建天顶角

检查什么? 判断标准是什么?

- ightharpoonup 宇宙线能谱或分成分能谱 $flux = \frac{dN}{dEdAd\Omega dt} = \frac{N_{bin}}{E_{bin} * Apter * t}$
 - 事例率
 - 能量→WFCTA的Size大小
 - Aperture→方向和芯位
 - 成分 > C像的长宽比, 既包含成分信息, 又包含几何信息
 - 数据符合的效率和符合时间窗
- ▶ 望远镜的运行环境和状态
 - 云天仪 (<-65)
 - DAQ
 - 开关门
 - 月亮与望远镜夹角(>30°)或者完全无月
 - 高压电压>75V
 - 高压电流<1.5A
 - KM2A好数据列表
 - WCDA事例率稳定





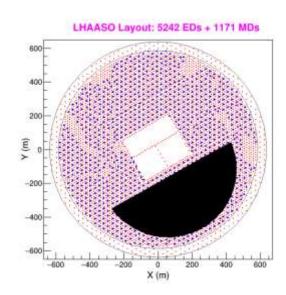


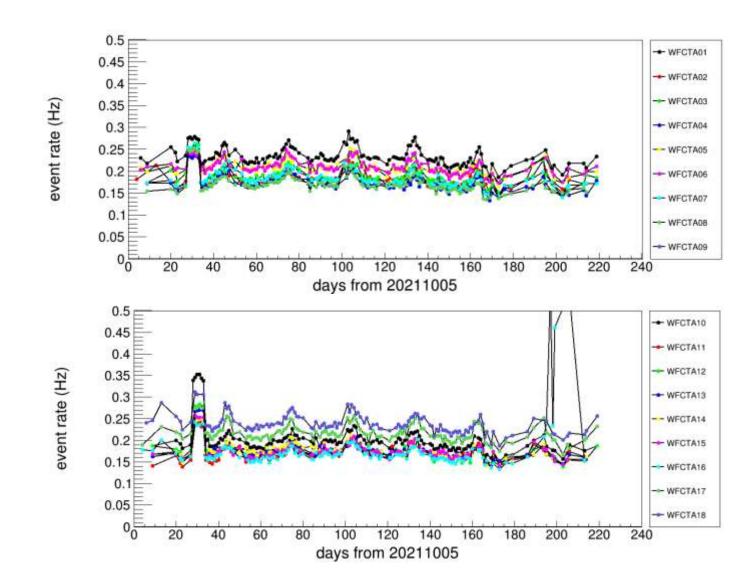
LHAASO - 高海拔宇宙後観測站



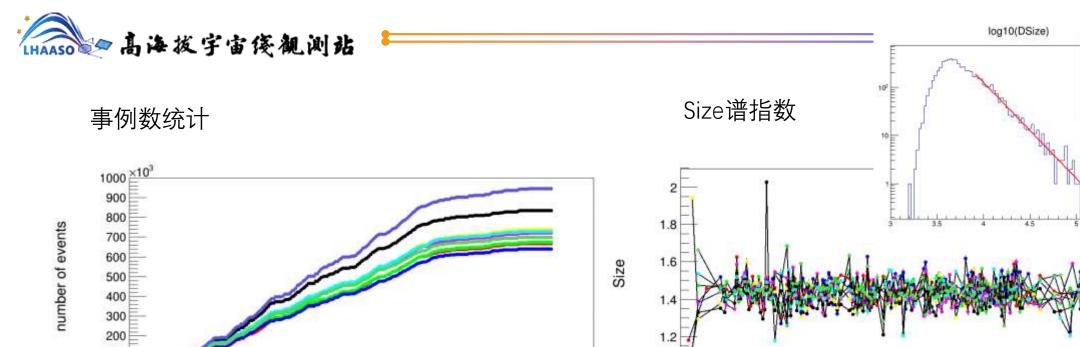
数据挑选条件

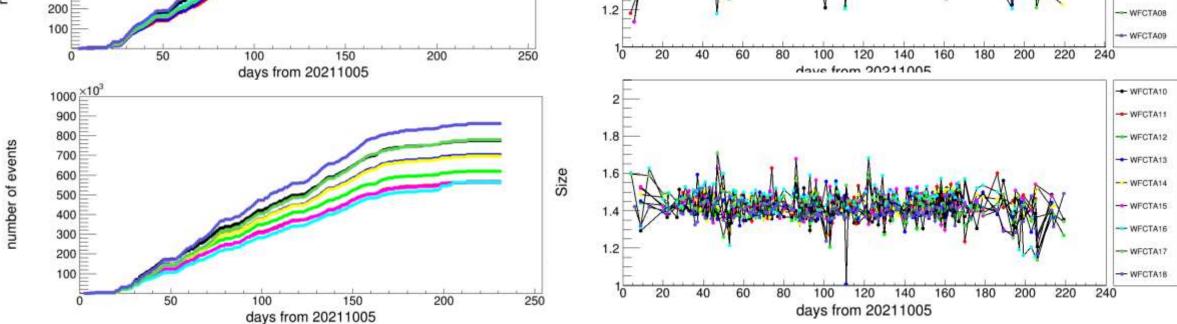
- 切伦科夫像的挑选条: 单道阈能: 100Pe Npix>10 像的重心在±6°以内
- KM2A挑选条: NpE2>20 芯位如下











h2

10-42 / 47

◆ WFCTA01

- WFCTA02

- WFCTA03

→ WFCTA04

-- WFCTA05

- WFCTA06

- WFCTA07

-1.994 ± 0.057

1.176e+10 ± 6.343e+09

Sat Day

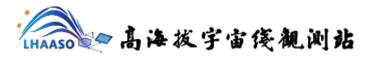


















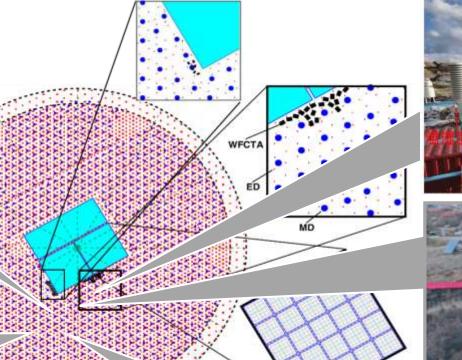
LHAASO ·· 高海拔宇宙後観測站

太阳光度计(9 个通道,测量 垂直方向上整 层大气中的气

溶胶光学厚度)



LHAASO的大气监测系统





(8-14µm, 感 测到来自地面 向天空任意方 向的热辐射)



微波辐射计

(测量垂直方 向上的水蒸气 密度等)

20米气象塔

(不同高度处 的温度、湿度、 压强等气象数 据)

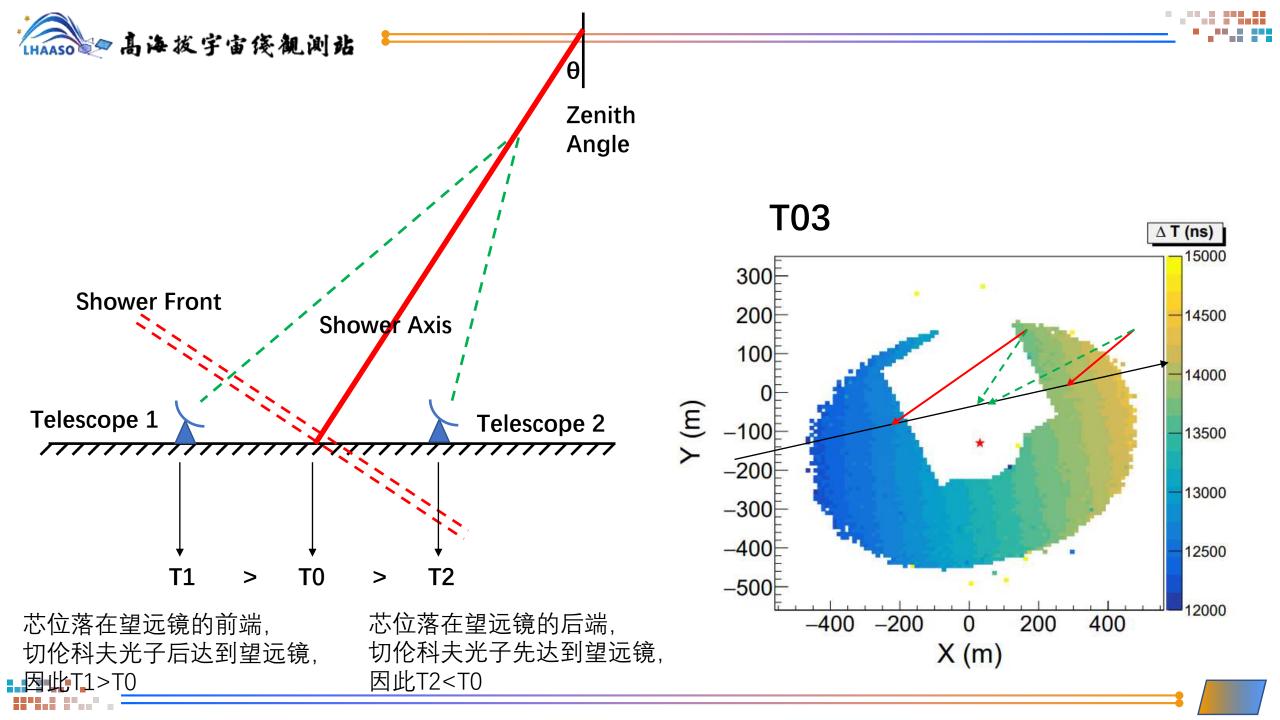


云高仪 (910 nm,测量垂直 方向上的云量 与云底高度)





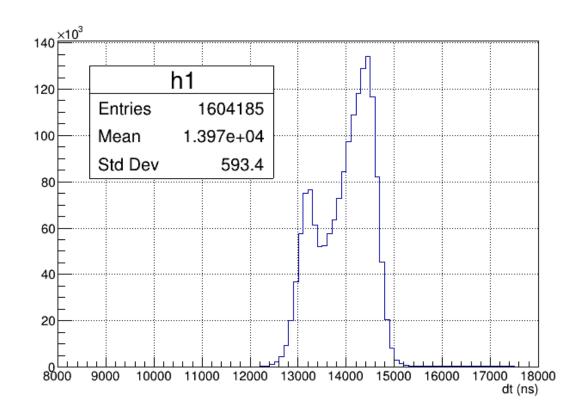


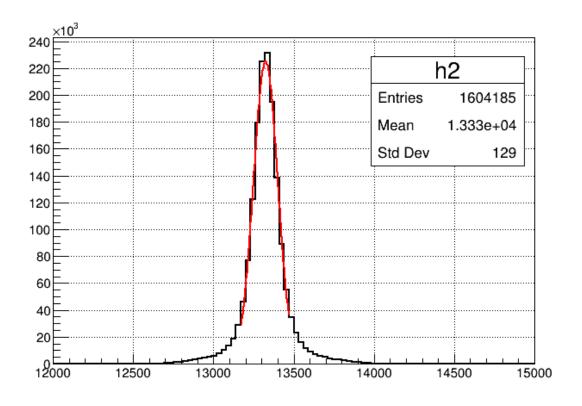




LHAASO ·· 高海拔宇宙後観測站









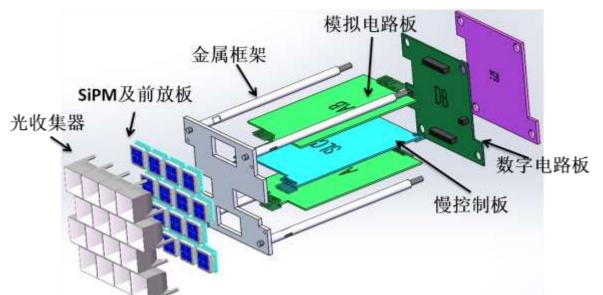




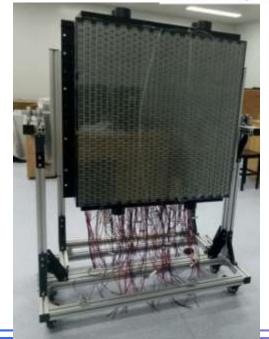
LHAASO · 高海拔宇宙後観測站









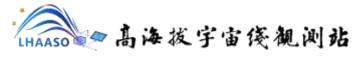




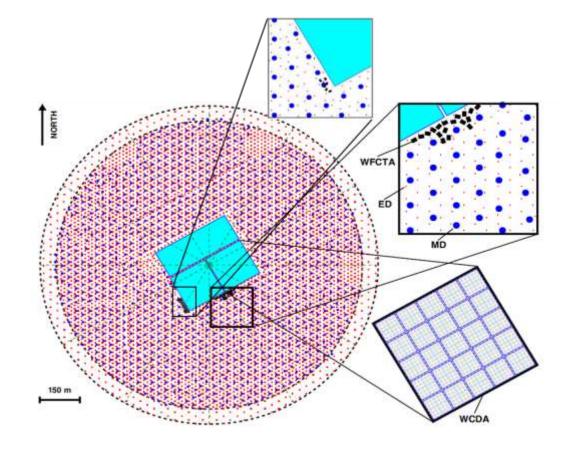












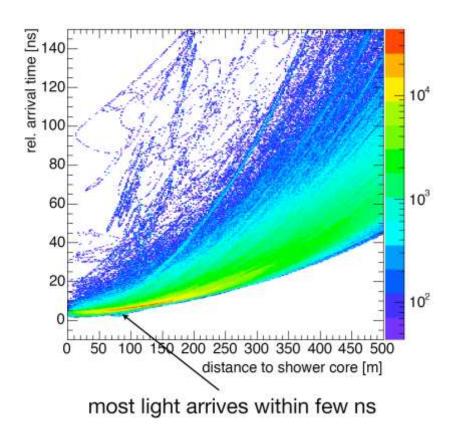


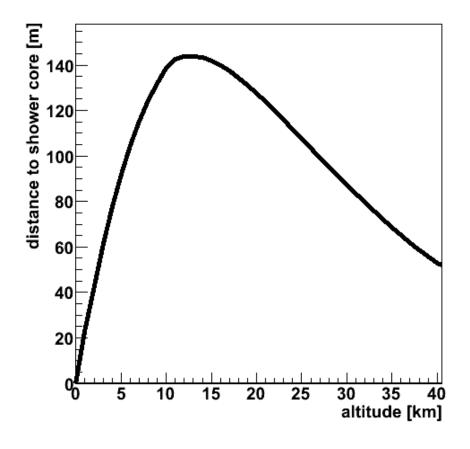
















LHAASO · 高海拔宇宙後観測站

事例挑选条件:

cloud<-65 moon_angle>30

Npix>10 |MeanXY|<6

Etrig>20 NpE1>15 NuM3>15 log10(NpE1/pow(NhitE,1.7))>-2.2

能量重建公式:

log10(rho40_200_e+150*rho40_200_u)+5.24;

右图为202210-202306观测季数据



