



数据分析



武 莎

中科院高能所

校园宇宙线观测联盟技术组



校园宇宙线观测暑期学校

感受国之重器，从宇宙线观测开始

7月23-24日 北京

主办单位

校园宇宙线观测联盟

支持单位



国科大关心下一代工作委员会



中国科学院大学教育基金会
University of Chinese Academy of Sciences Education Foundation



国家高能物理科学数据中心
National HEP Data Center



重走宇宙线之旅 —事例重建

中国科学院高能物理研究所
校园宇宙线观测联盟技术组

武莎



课程导入

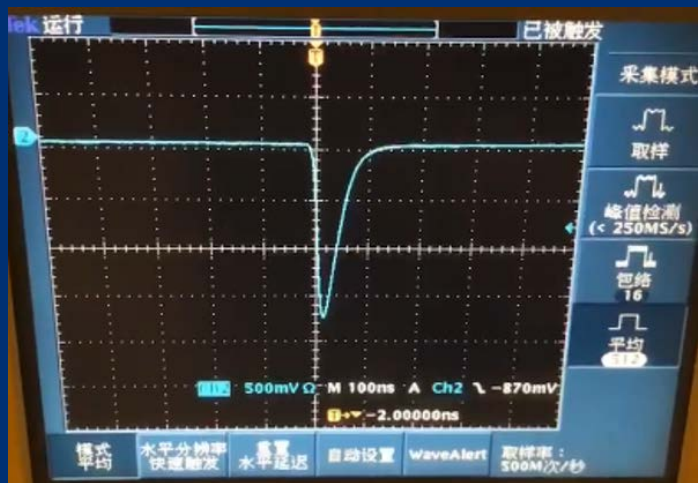
- 高能原初宇宙线与大气相互作用产生了广延大气簇射，转换成了数量巨大的低能次级粒子。
- 我们如何利用地面实验探测到的次级粒子信息，找到原初宇宙线的方向？



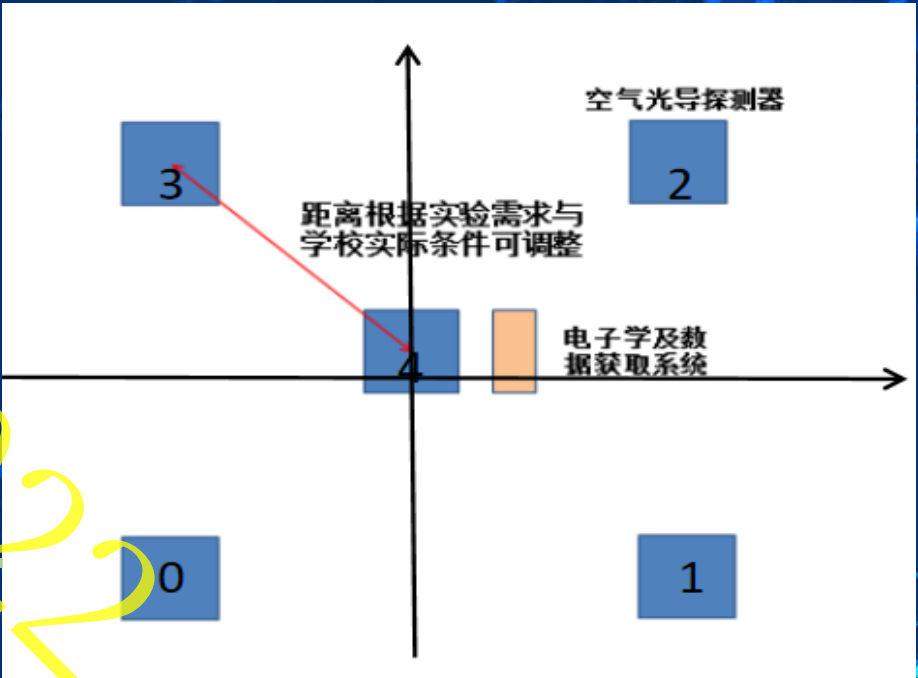
真实数据长什么样子？

- 每个事例记录的信息：

ev_time: 事例触发时间
ch_t: 探测器着火时间
ch_w: 探测信号大小



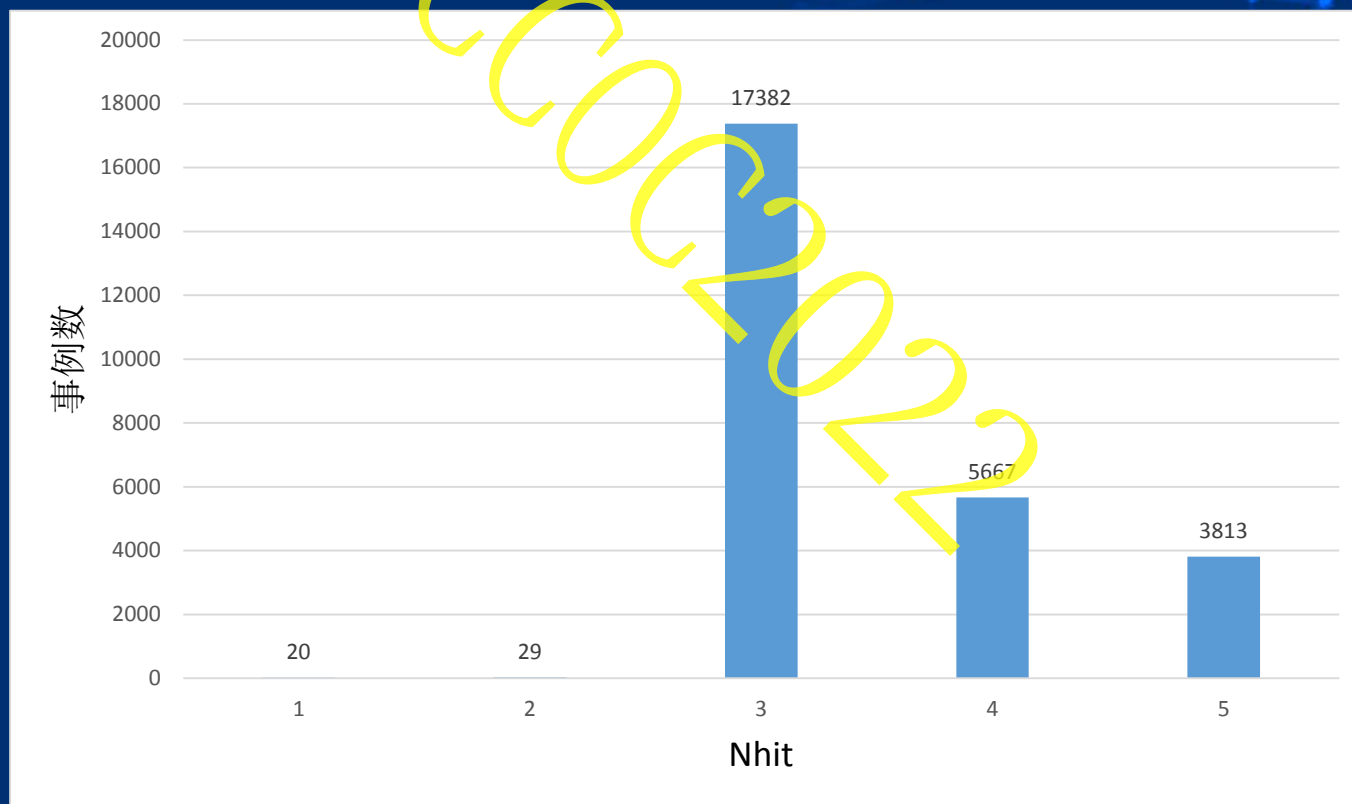
高能粒子打到探测器



ev_time_s	ev_time_nstrg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w	ch2_t2	ch2_w	ch3_t2	ch3_w	ch4_t2	ch4_w	
1640507663.00	411460000	36582	98	114	96	70	94	40	98	56	0	0
1640507667.00	171118272	36583	100	78	102	78	0	0	0	0	98	78
1640507669.00	454696256	36584	0	0	0	0	96	48	94	96	100	104
1640507677.00	284854880	36585	100	64	0	0	0	0	94	80	102	36

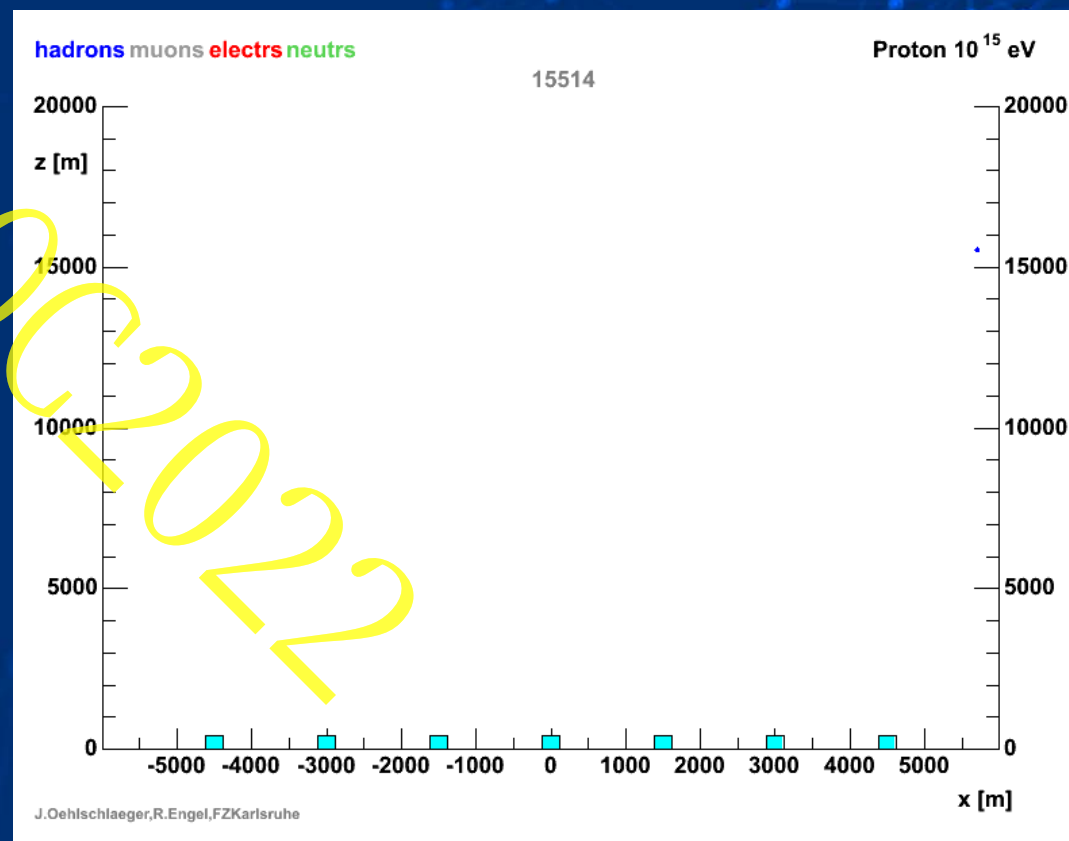
着火探测器数目分布

- 2021年12月26日-27日，取数时间138600s (1.6天)，事例数26900。



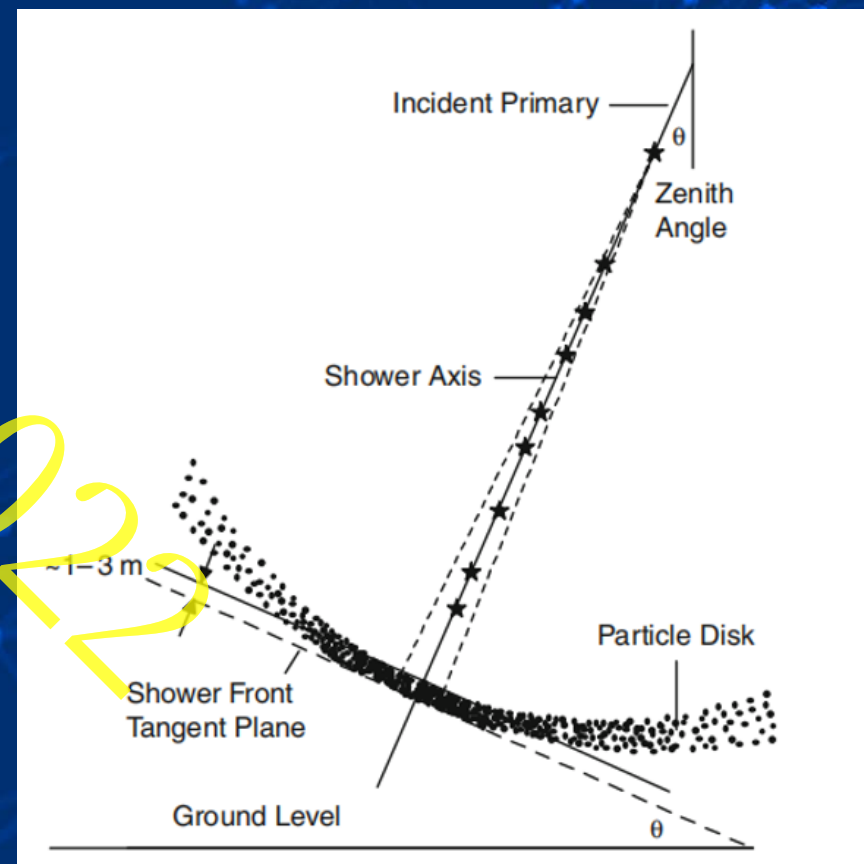
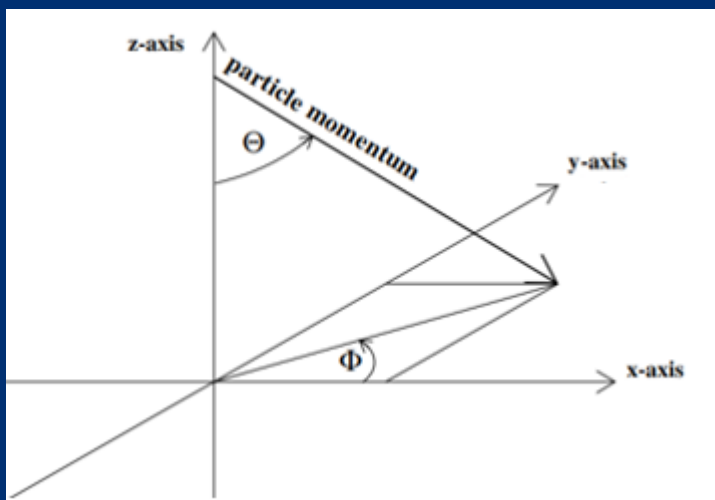
广延大气簇射的特点？

- 原初宇宙线经过大气簇射产生的次级粒子基本上分布在一个很薄的圆盘上，这个圆盘可以近似为一个平面。



如何表示宇宙线的方向？

- 根据不同探测器测量到时间延迟，可以求解次级粒子所在的平面，进而得到事例的原初方向。

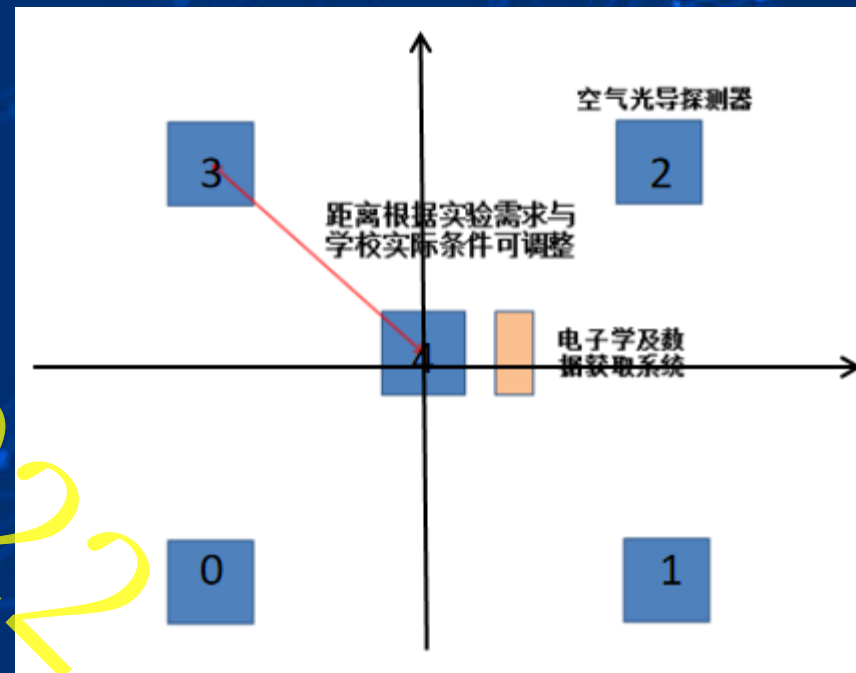


确定数据筛选条件

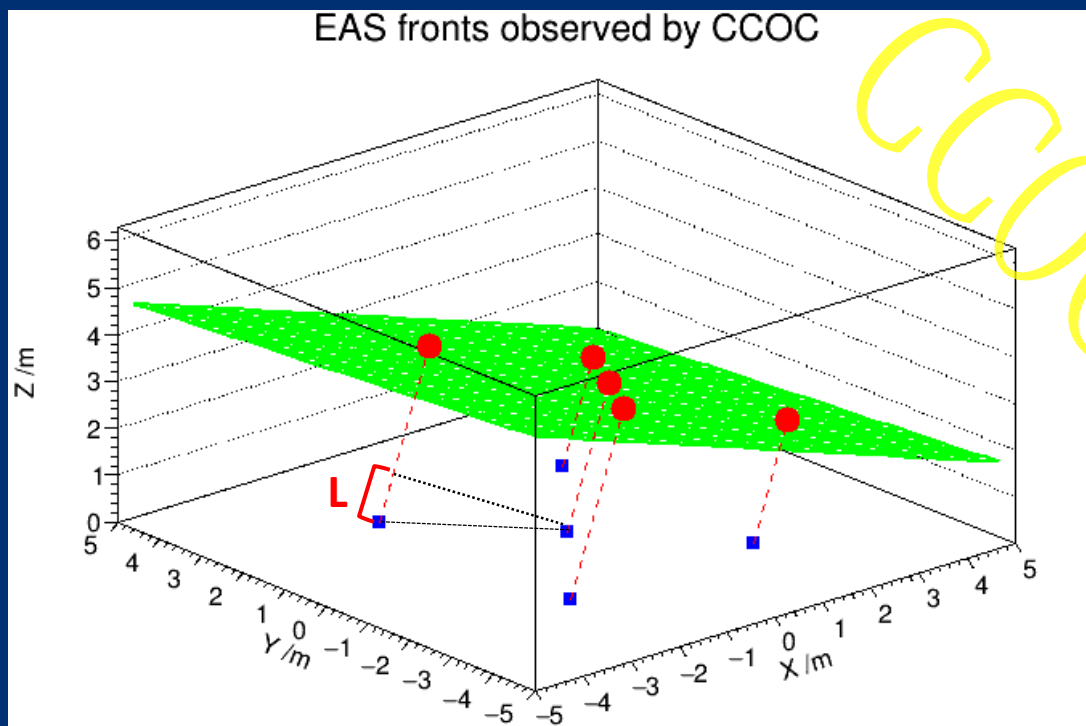
不共线的三个点确定一个平面



$N_{hit} \geq 3$, 3台不在同一条线上



平面方程上的一个点



已知:

每台探测器的坐标 (X, Y)

着火探测器着火时间 t_i

求解: 平面法向量 (l, m, n)

$$L = l \times (X - 0) + m \times (Y - 0) + n \times (Z - 0)$$

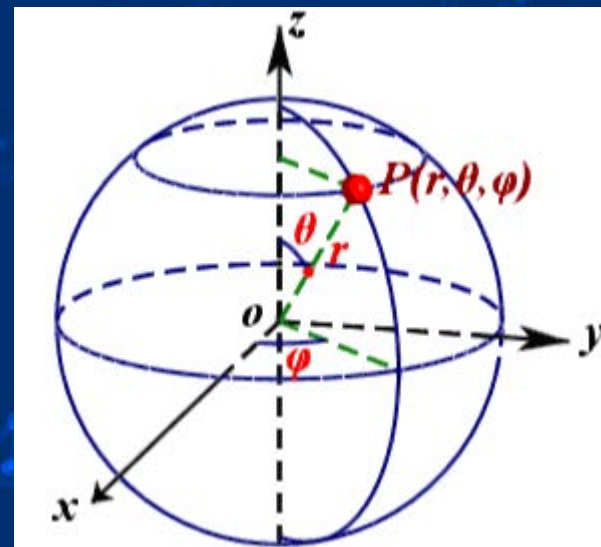
$$= l \times X + m \times Y$$

$$t_i = t_0 + \frac{l \times X + m \times Y}{c}$$

五分钟，手算一个事例方向

探测器编号	0	1	2	3	4
X/m	-1.9	1.9	1.9	-1.9	0
Y/m	-2.285	-2.285	2.285	2.285	0
t/ns	97.0	100.6	0.0	0.0	95.8

$$\begin{cases} 97 = t_0 + \frac{-1.9 \times l - 2.285 \times m}{c} \\ 100.6 = t_0 + \frac{1.9 \times l - 2.285 \times m}{c} \\ 95.8 = t_0 + \frac{0 \times l + 0 \times m}{c} \end{cases}$$
$$l = 0.284, m = 0.394$$



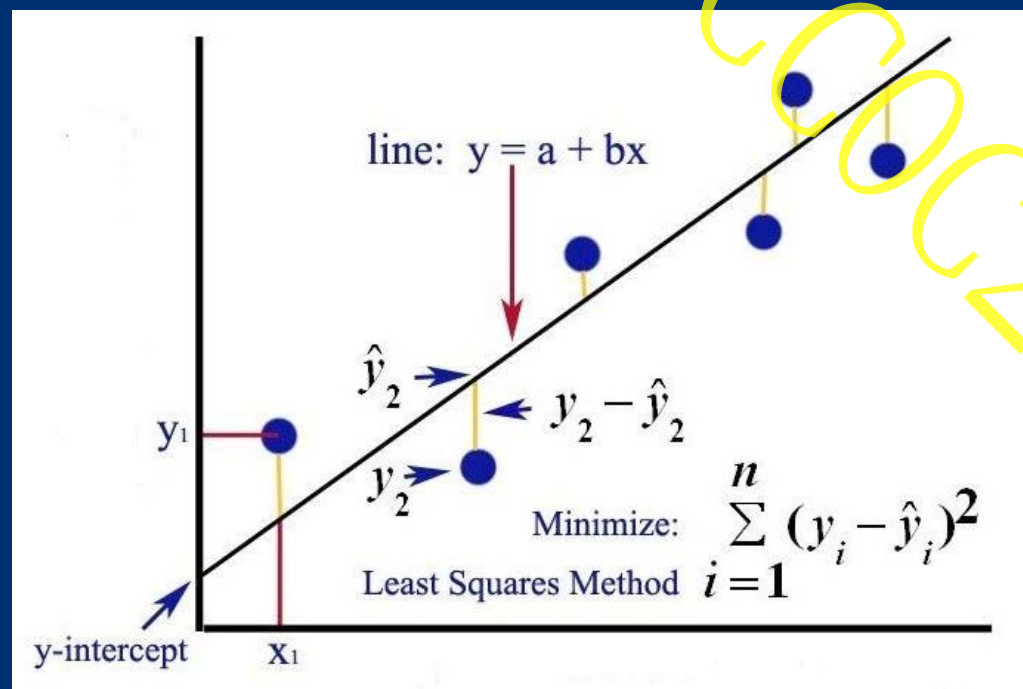
$$\begin{cases} l = \sin \theta \cos \varphi \\ m = \sin \theta \sin \varphi \end{cases}$$

$$\theta = \arcsin(\sqrt{l^2 + m^2}) \sim 29.1^\circ$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{m}{\sqrt{l^2 + m^2}}\right) \sim 306.3^\circ$$

线性回归思想

- 通过最小二乘法计算于现有数据最佳拟合的结果。



- 线性回归方程的公式:

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} \\ \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x}. \end{cases}$$
$$\hat{y} = \hat{b}x + \hat{a}$$

- 方向重建是多元线性回归过程

Excel 实现事例的批量重建

20211226 - Excel

wusha@ihep.ac.cn

文件开始插入绘图页面布局公式数据审阅视图帮助操作说明搜索

剪贴板

字体

对齐方式

数字

样式

单元格

编辑

A1

fx

ev_time_s

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	ev_time_s	ev_time_ns	trg_num	ch0_t0	ch0_w0	ch1_t1	ch1_w1	ch2_t2	ch2_w2	ch3_t3	ch3_w3	ch4_t4	ch4_w4	探测器编号	0	1	2	3	4			
2	1640507663	411460000	36582	98	114	96	70	94	40	98	56	0	0		X/m	-1.9	1.9	1.9	-1.9	0		
3	1640507667	171118272	36583	100	78	102	78	0	0	0	0	98	78		Y/m	-2.285	-2.285	2.285	2.285	0		
4	1640507669	454696256	36584	0	0	0	0	96	48	94	96	100	104		offset/ns	1.15	-1.25	-1.15	1.25	0		
5	1640507677	284854880	36585	100	64	0	0	0	0	94	80	102	36		Tw/ns	21.2	21.2	19.2	20.2	20		
6	1640507679	297298240	36586	104	32	104	82	0	0	118	38	106	40		Tau/ns	32.1	37.3	33.6	35.5	35.2		
7	1640507684	210048128	36587	112	8	0	0	84	38	0	0	94	34									
8	1640507689	601845216	36588	118	22	0	0	118	20	116	24	0	0									
9	1640507696	137718176	36589	0	0	118	38	0	0	116	56	108	102									
10	1640507699	937017504	36590	0	0	0	0	106	24	110	32	106	52									
11	1640507700	52130144	36591	98	58	96	36	0	0	104	30	98	44									
12	1640507712	504396064	36592	0	0	116	52	0	0	112	62	110	90									
13	1640507714	12168964	36593	0	0	38	26	0	0	126	56	40	36									
14	1640507714	877674016	36594	100	50	0	0	0	0	102	42	102	42									
15	1640507716	450648384	36595	116	56	0	0	106	90	0	0	108	52									
16	1640507730	677733472	36596	126	38	0	0	120	28	0	0	118	54									
17	1640507736	769115520	36597	0	0	94	30	96	40	104	50	0	0									
18	1640507738	920731136	36598	126	122	132	84	128	116	124	2.2E+09	126	128									
19	1640507739	682642880	36599	94	34	110	8	0	0	0	0	94	46									
20	1640507744	404503296	36600	96	110	0	0	82	142	0	0	96	60									
21	1640507752	436539808	36601	112	36	0	0	82	62	0	0	86	64									
22	1640507765	788378016	36602	130	20	120	38	0	0	122	16	112	104									
23	1640507773	786290208	36603	102	26	84	50	0	0	86	104	0	0									
24	1640507776	595228800	36604	108	114	126	44	106	54	110	56	110	56									
25	1640507785	118053056	36605	108	22	96	106	92	74	0	0	0	0									
26	1640507786	427246240	36606	0	0	0	0	94	104	96	40	98	46									
27	1640507808	592358208	36607	98	56	104	34	0	0	0	0	98	72									
28	1640507809	107847552	36608	0	0	0	0	106	50	114	122	114	66									
29	1640507815	824827168	36609	122	70	110	112	0	0	0	0	124	30									
30	1640507819	322399520	36610	0	0	104	84	110	26	102	44	0	0									
31	1640507822	656602208	36611	114	30	0	0	106	106	116	82	0	0									
32	1640507823	249066144	36612	92	128	96	60	0	0	0	0	102	52									
33	1640507831	399673728	36613	98	42	88	102	88	48	0	0	0	0									
34	1640507837	977804864	36614	20	22	0	0	0	0	102	46	12	42									
35	1640507841	293142688	36615	108	26	100	42	106	28	100	108	94	100									
36	1640507844	265605824	36616	104	108	94	134	102	40	108	106	120	100									
37	1640507850	877114240	36617	64	68	0	0	58	86	0	0	106	20									
38	1640507872	10701344	36618	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									

就绪

平均值: 1640577722 计数: 26914 求和: 4.41529E+13

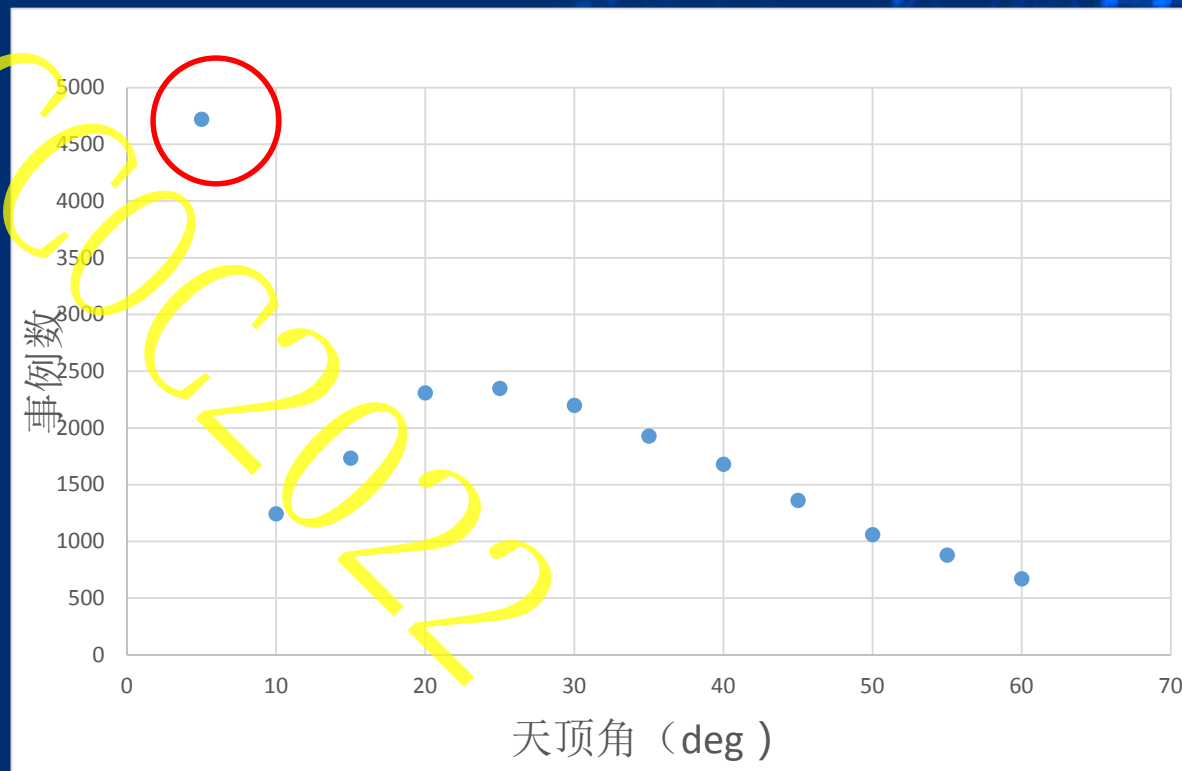
重建结果检查

- 重建不成功情况：

$$l^2 + m^2 > 1$$

- 思考：

天顶角分布的峰值在 25° 附近是否合理？



课堂小结

- 原初宇宙线在大气中产生的次级粒子基本上分布在一个平面上，宇宙线方向重建即为求解平面方程的过程。

