

VLAST HEIC-Cube 在 PS 束流测试的分析结果

汇报人：张研硕

核探测与核电子学国家重点实验室
中国科学技术大学

2023/12/14



目录

- 1 VLAST 课题背景
- 2 样机的研制和组装
- 3 PS 束流分析结果
- 4 总结和展望

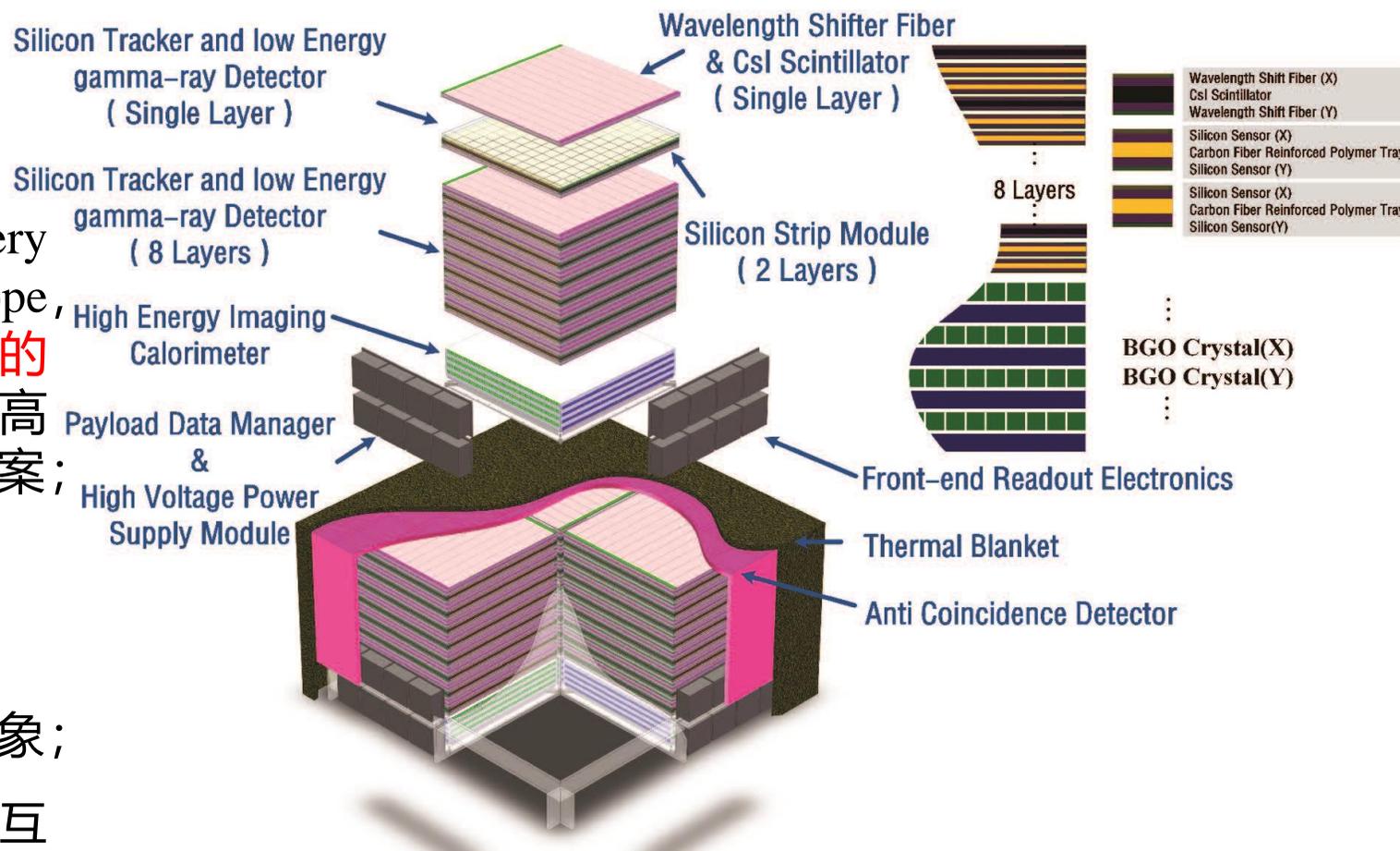


课题背景介绍

课题背景

VLAST 项目简介

- 甚大面积伽马射线空间望远镜 (Very Large Area gamma ray Space Telescope, 缩写为: VLAST) 课题预期会有**更大的接收度和有效面积**, 将成为新一代高能伽马射线天文观测的有利备选方案;
- 物理目标:
 - a. 寻找暗物质粒子可能的痕迹;
 - b. 观测宇宙中的瞬时高能天文现象;
 - c. 研究宇宙线的产生, 传播和相互作用过程;



有效载荷的结构布局

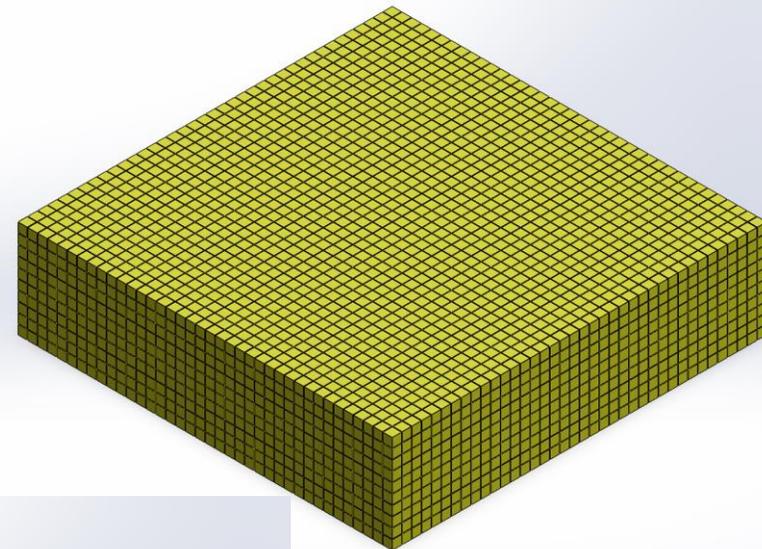
课题背景

高能成像量能器 HEIC

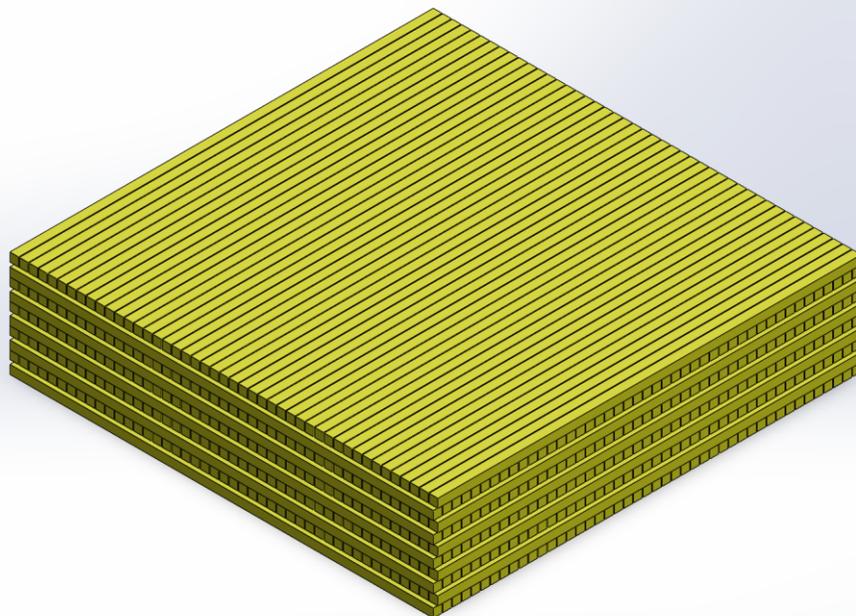
- 预期动态范围：0.1 GeV ~ 20 TeV;
- 主体材料：BGO 晶体;

BGO quantity	value	unit
Z/A	0.42065	mol/g
density	7.130	g/cm ³
minimum ionization	8.918	MeV/cm
nuclear interaction length	22.32	cm
nuclear collision length	13.49	cm
radiation length	1.118	cm
Molière radius	2.259	cm

- 若采用长晶体方案，将是 **米量级的晶体首次应用于实验探测**;
- 若采用小晶块方案，则 **结构更易拓展，簇射轮廓描述更简单和清晰，具有侧面入射粒子重建的潜力**;



长晶体方案
(长 ~ 1.2 m)



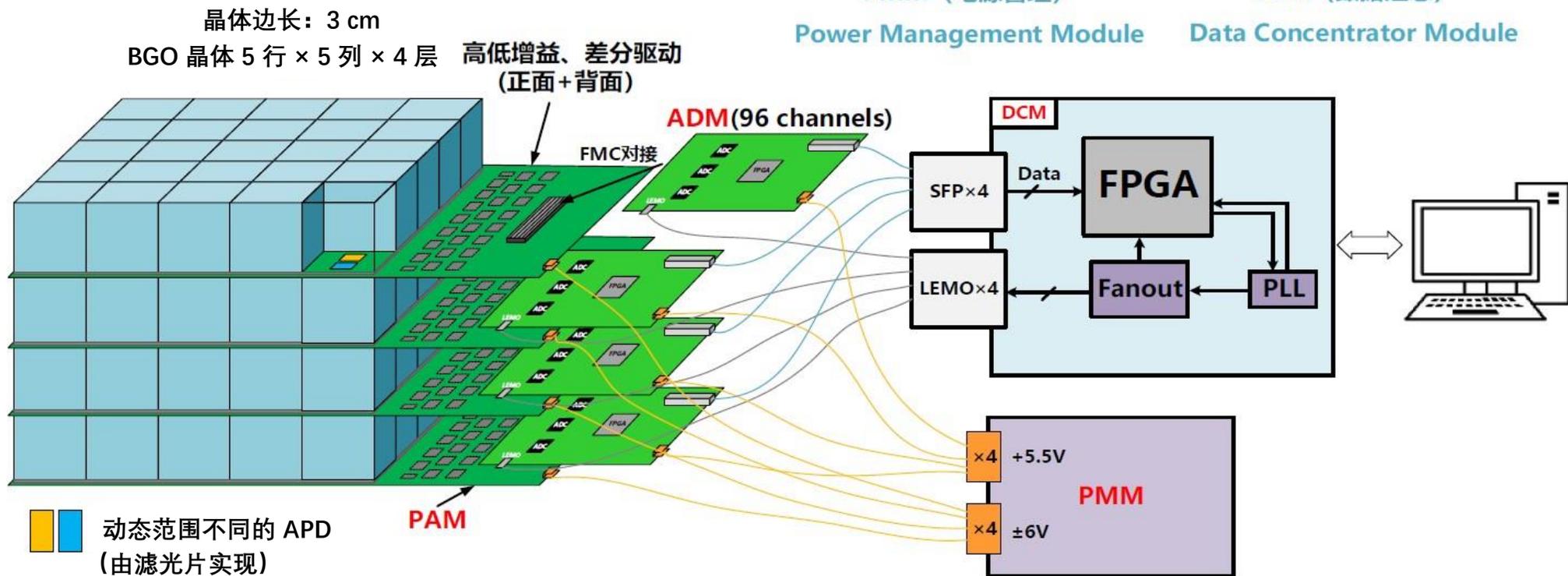
小晶块方案
(边长 ~ 3 cm)



样机组装和束流测试

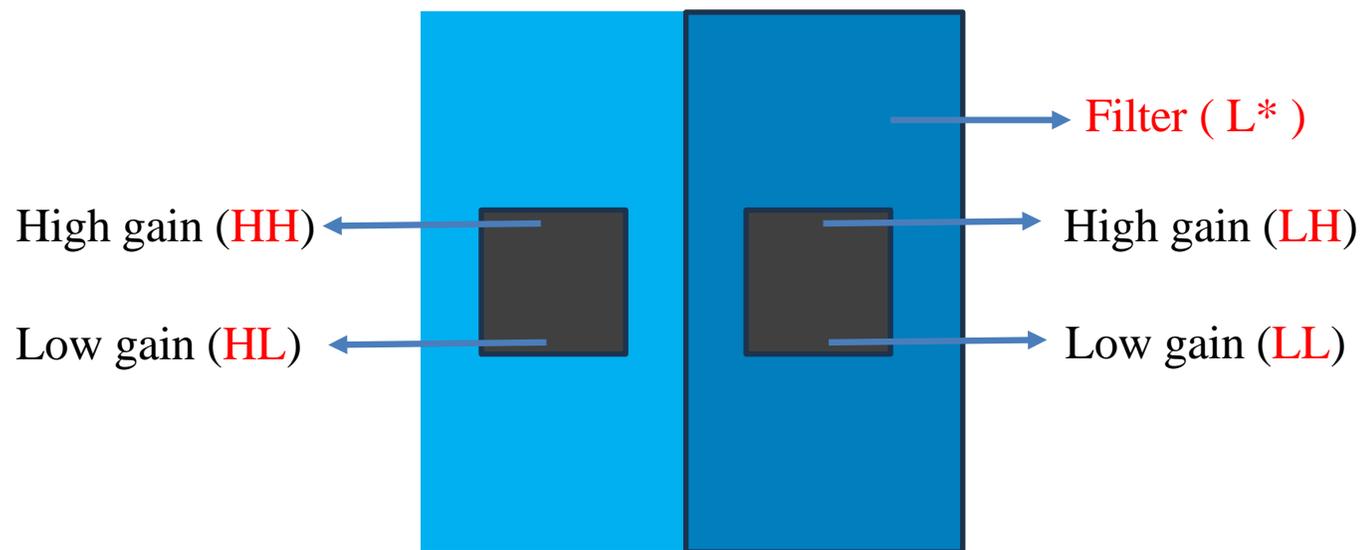
HEIC-Cube 样机

探测器部分的尺寸：192 mm × 192 mm × 158 mm；
以 BGO 晶体计算，中心垂直入射时，
横向尺寸约合 3.3 个莫里哀半径，
纵向尺寸约合 10.7 个辐射长度；

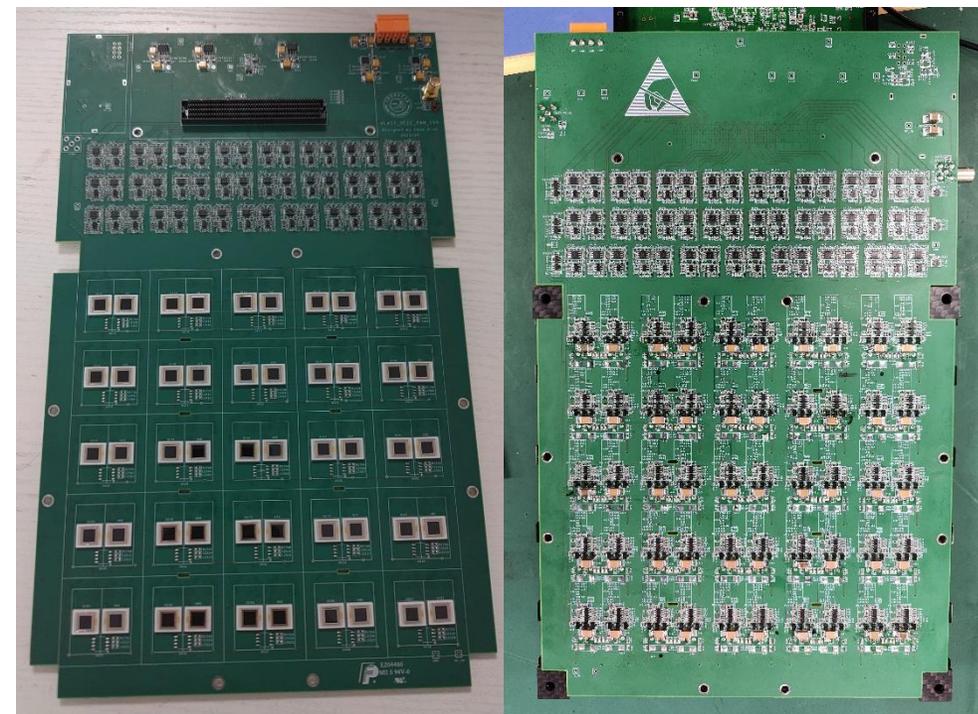


HEIC-Cube 样机—电子学部分

封常青老师, 陈乾同学



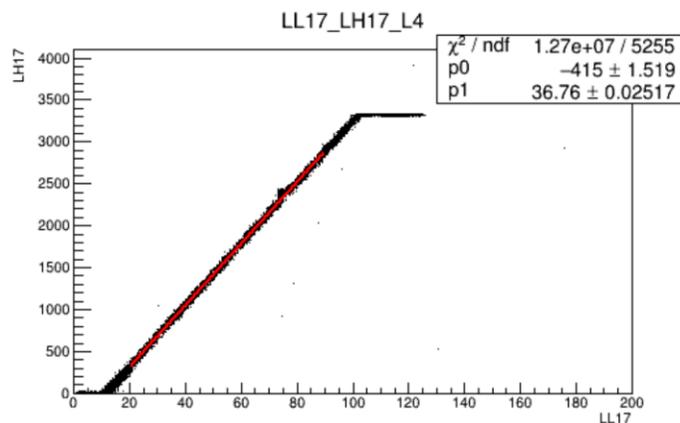
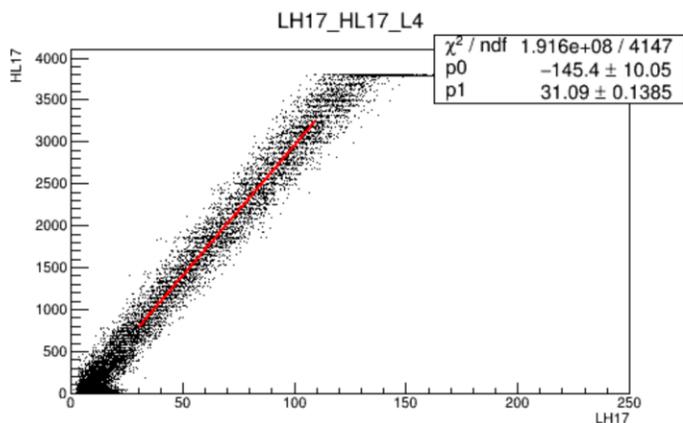
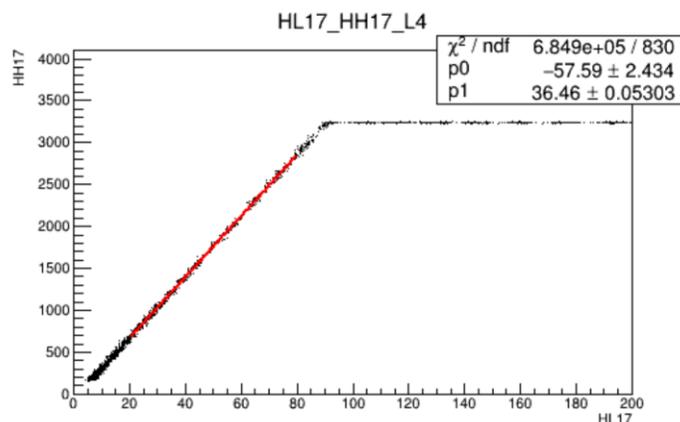
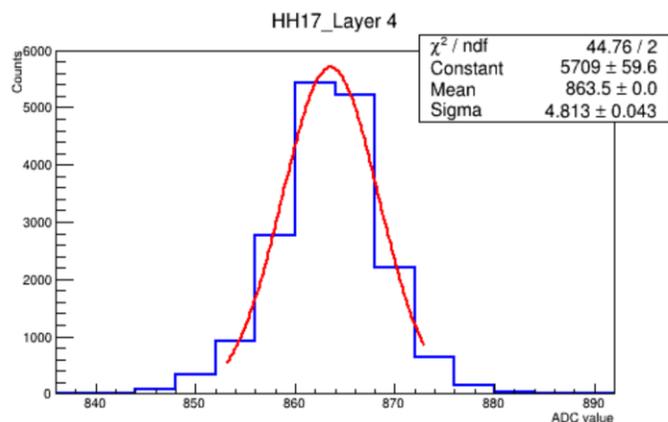
选取 APD 探测 BGO 产生的荧光信号, 并由电子学增益配合遮光片实现大动态范围。



前端电子学的正面及反面照片

HEIC-Cube 样机—大动态范围

LED 测试各通道之间的线性关系



Width : 300ns;
0 | (2.3V~9V);
Pulse; 100Hz;

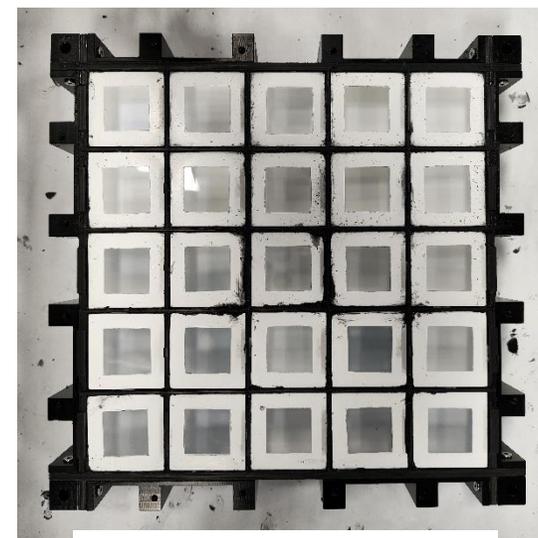
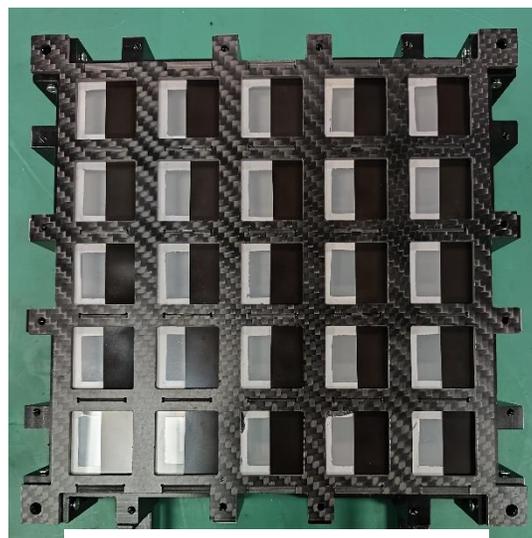
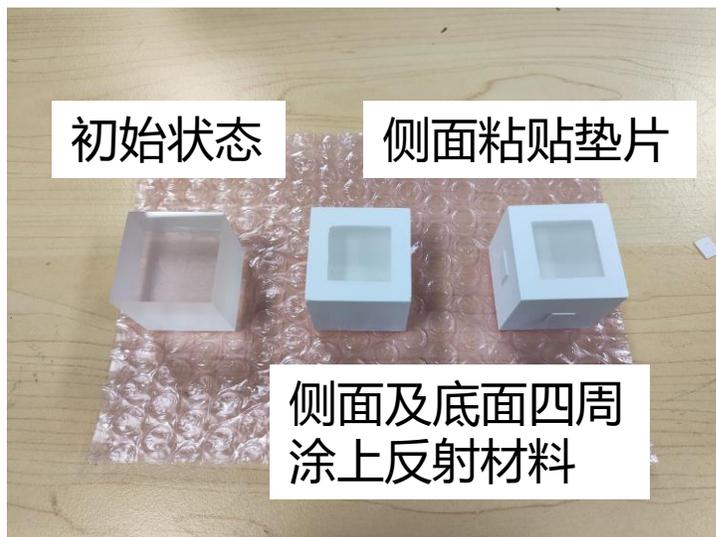
Waveform generator



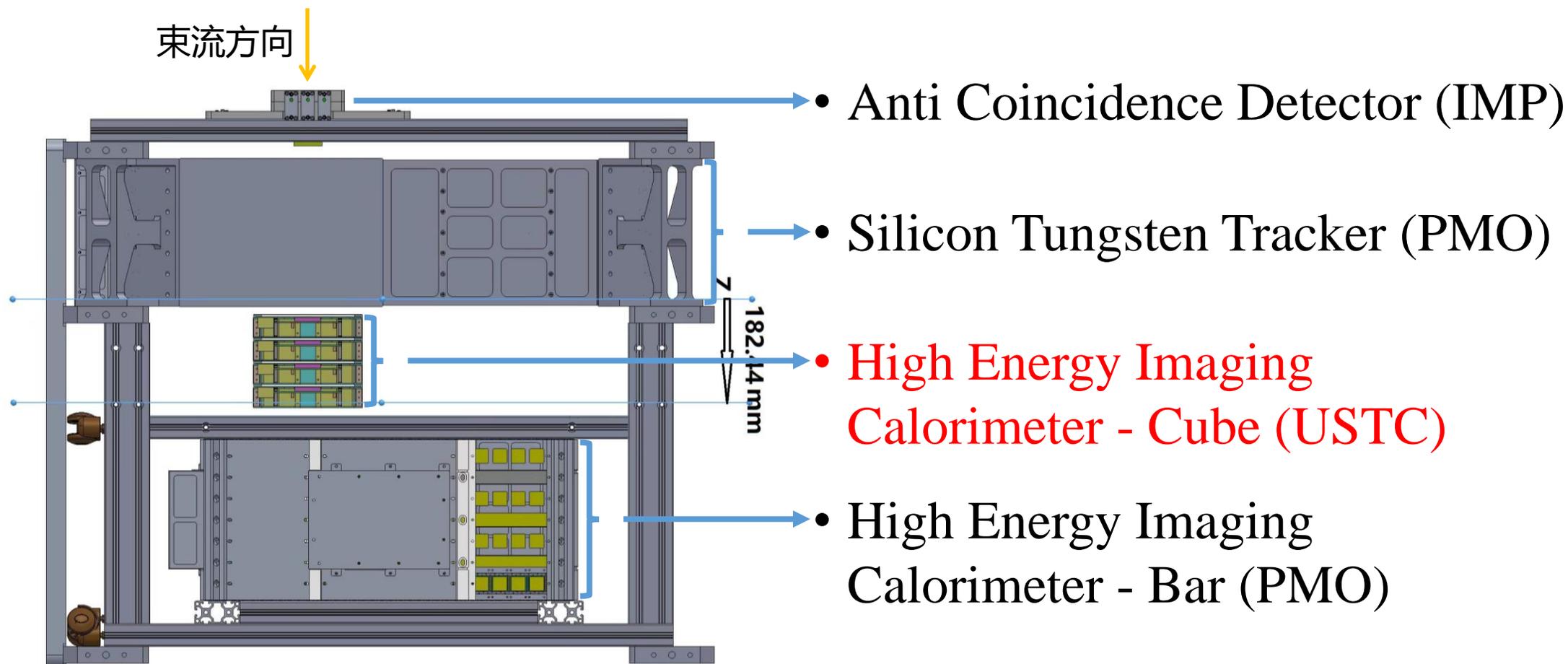
借助遮光片和电子学增益, 可以实现的动态范围: $\frac{4096 - 890}{5 \times 4.813} \times 36.46 \times 31.09 \times 36.76 = 5.551 \times 10^6$

HEIC-Cube 样机—探测器部分

胡一鸣、陈灯意 老师

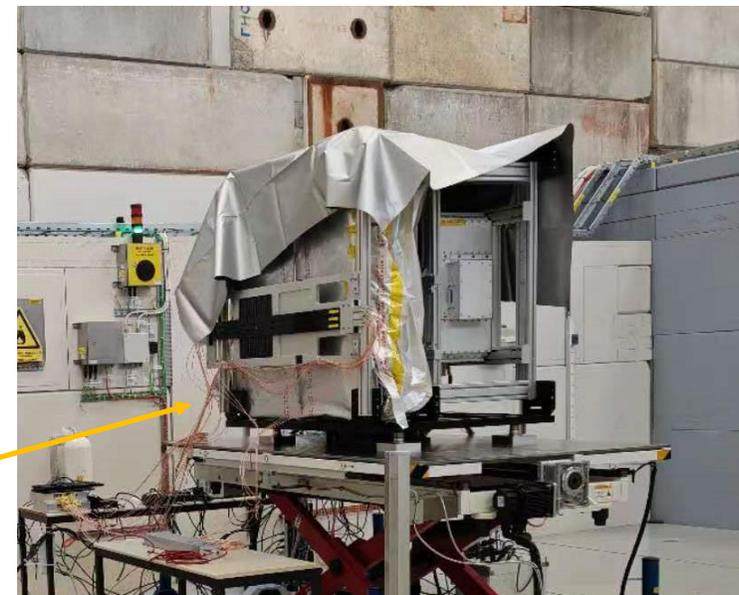
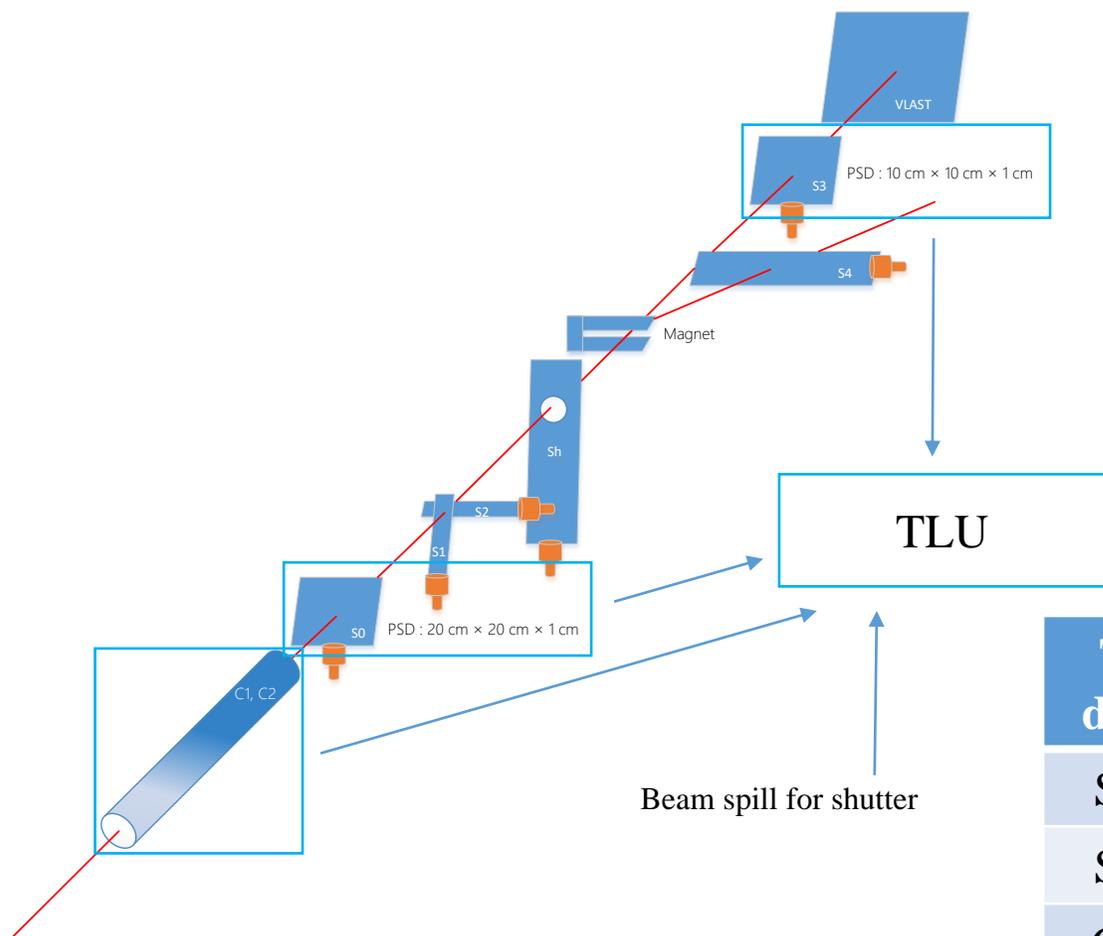


束流测试的样机结构



各个子探测器由不同的单位进行研制，完成后再组装进行 PS 和 SPS 的束流测试。

束流测试的触发方式



Trigger detectors	Particle	Momentum (GeV/c)	Total counts
S0 & S3	μ^-	5	327,294
S0 & S3	π^-	10, 12	409,269
C1 & S3	e^-	1, 2, 3, 4, 5	1,012,152



PS 测试数据分析

PS 测试数据分析

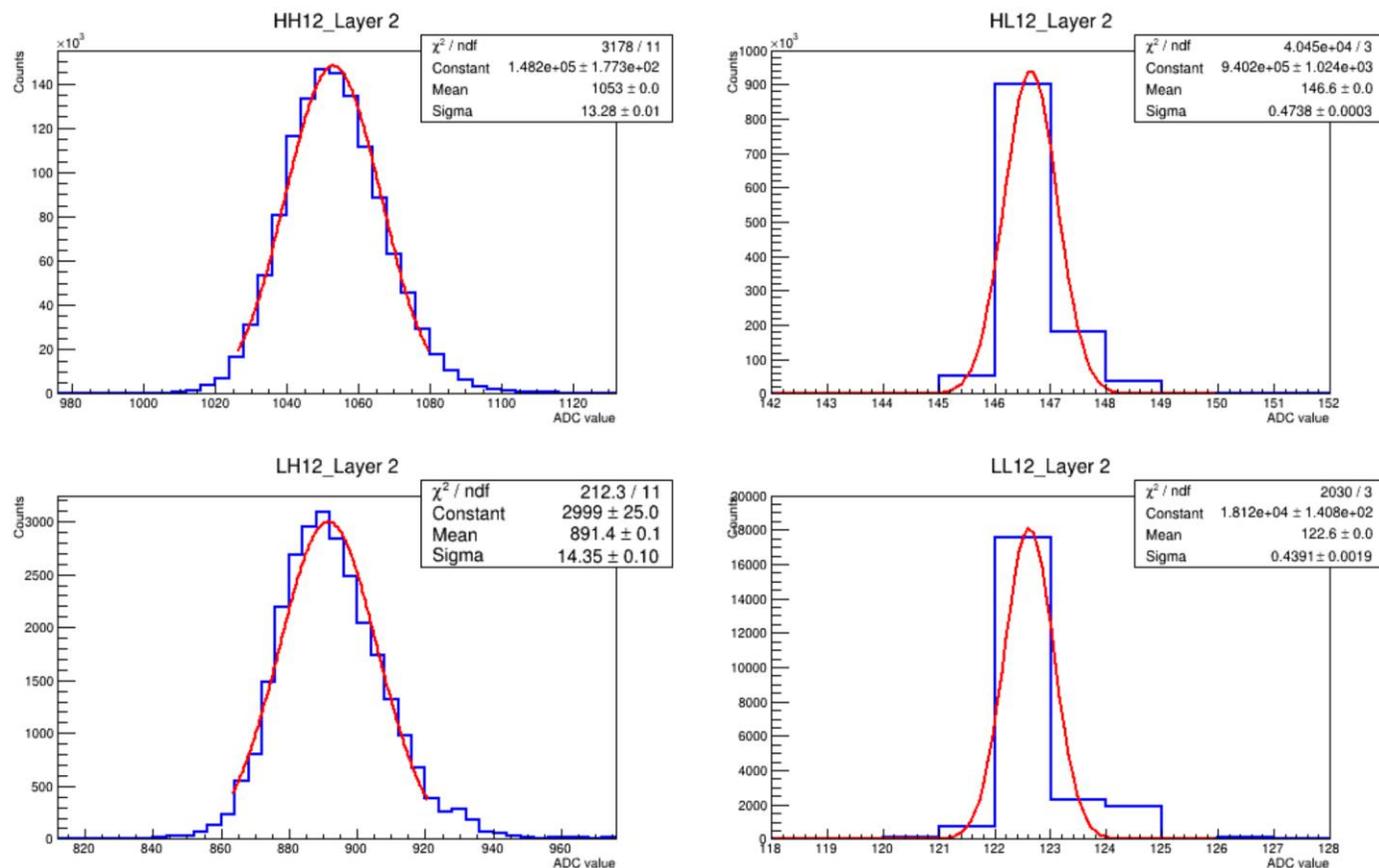
主要内容:

- 5 GeV/c Muon:
 - 台基;
 - MIPs 峰位;
- 12 GeV/c Pion:
 - 台基;
 - 高低增益线性;
- 5 GeV/c Electron 等:
 - 有效事例筛选;
 - 能谱汇总;

数据汇总

Particle	Momentum (GeV/c)	Counts	Data type	RunID
μ^-	5	192,686	positional scanning	10004 ~ 10032
π^-	12	232,844	positional scanning	10045 ~ 10069
e^-	1, 2, 3, 4, 5	34,600 + each	central incidence	10155 ~ 10190

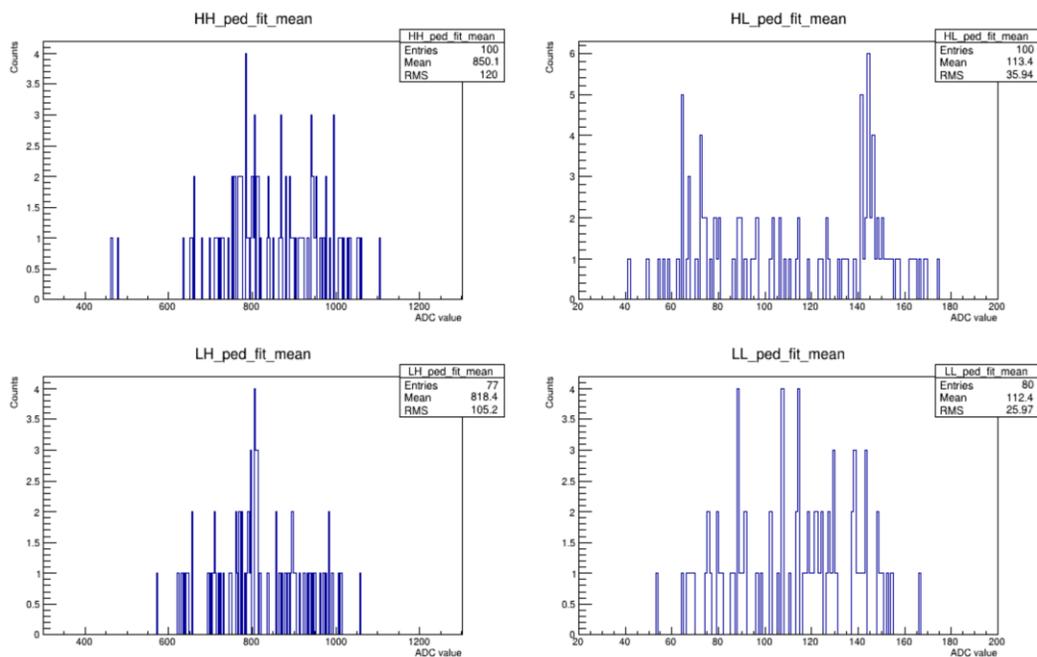
台基的典型拟合结果



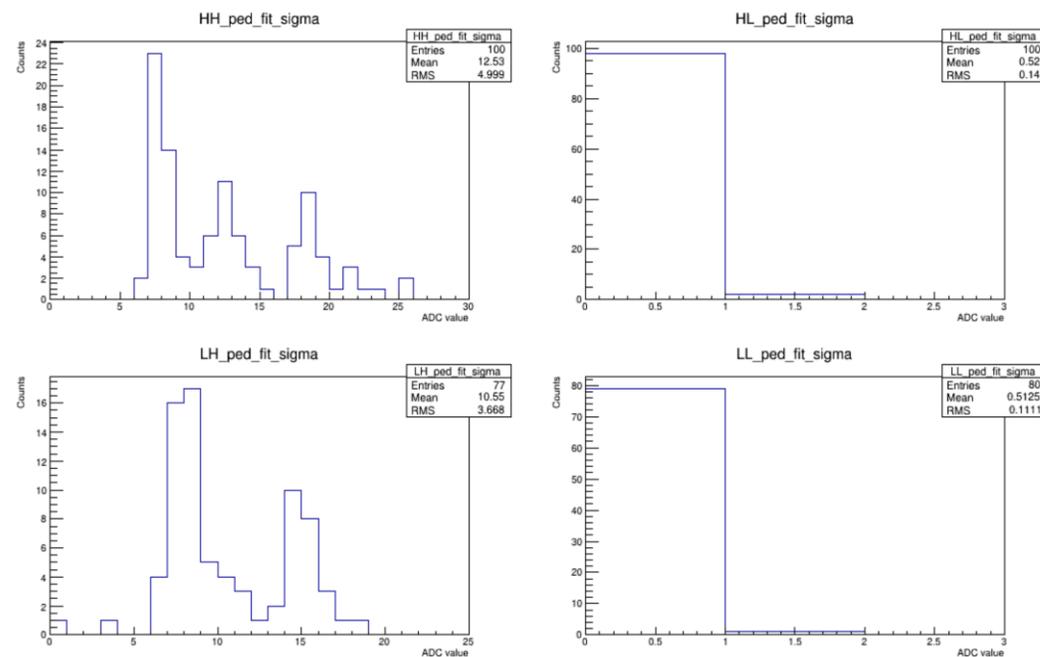
高增益通道的台基中心值在 900 道左右, 低增益通道在 130 道左右

5 GeV/c Muon 台基

不同通道的拟合中心值



不同通道的拟合标准差



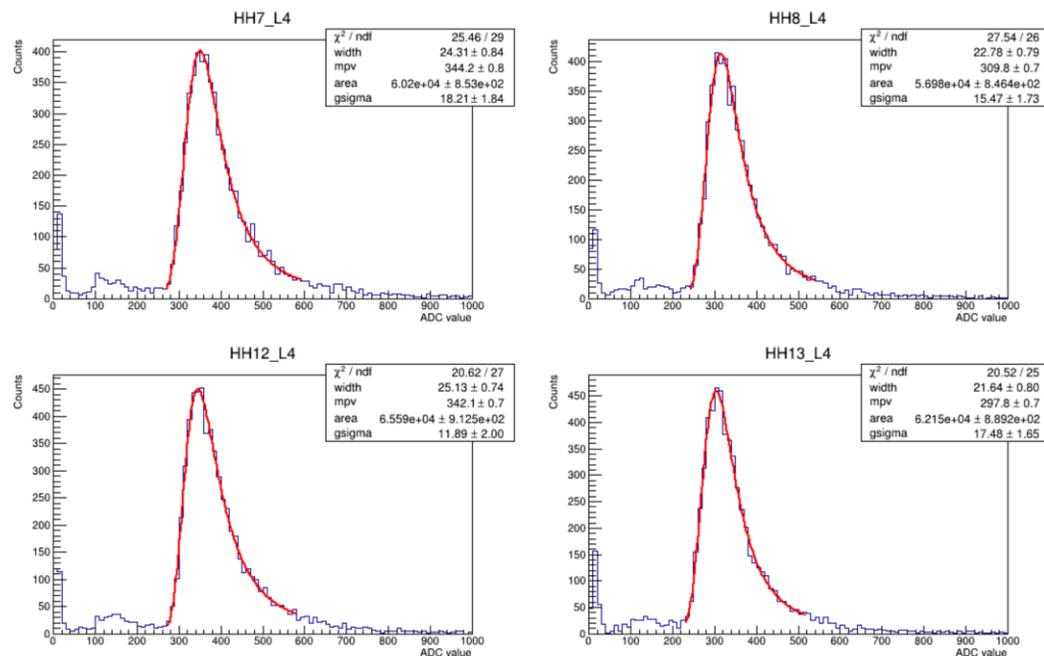
不同通道的台基之间存在较大差异

5 GeV/c Muon MIPs 峰位

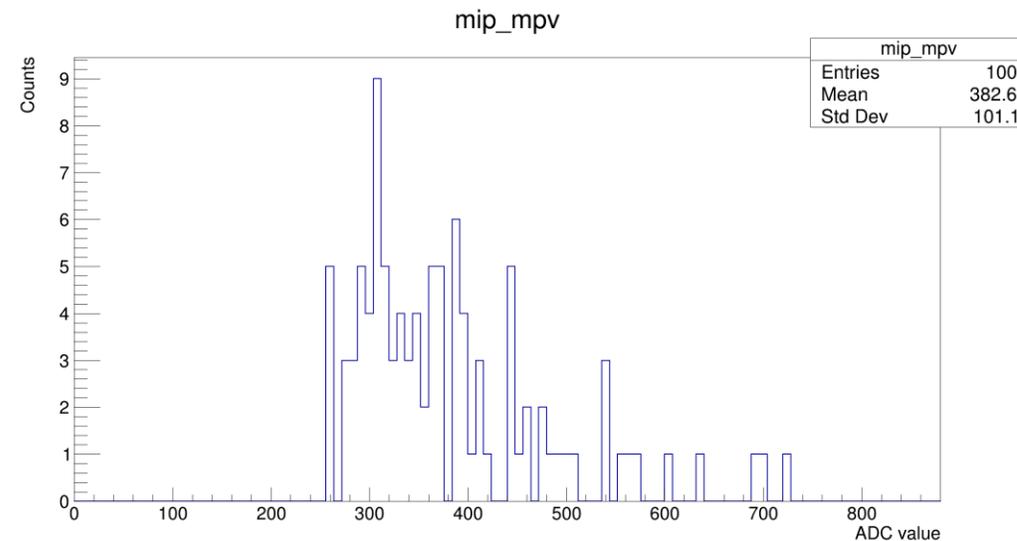
Muon MIPs 筛选条件:

- 每层有 **1 或 2 个** 击中;
- 至少 **3 层** 有信号;

HH 通道的典型拟合结果



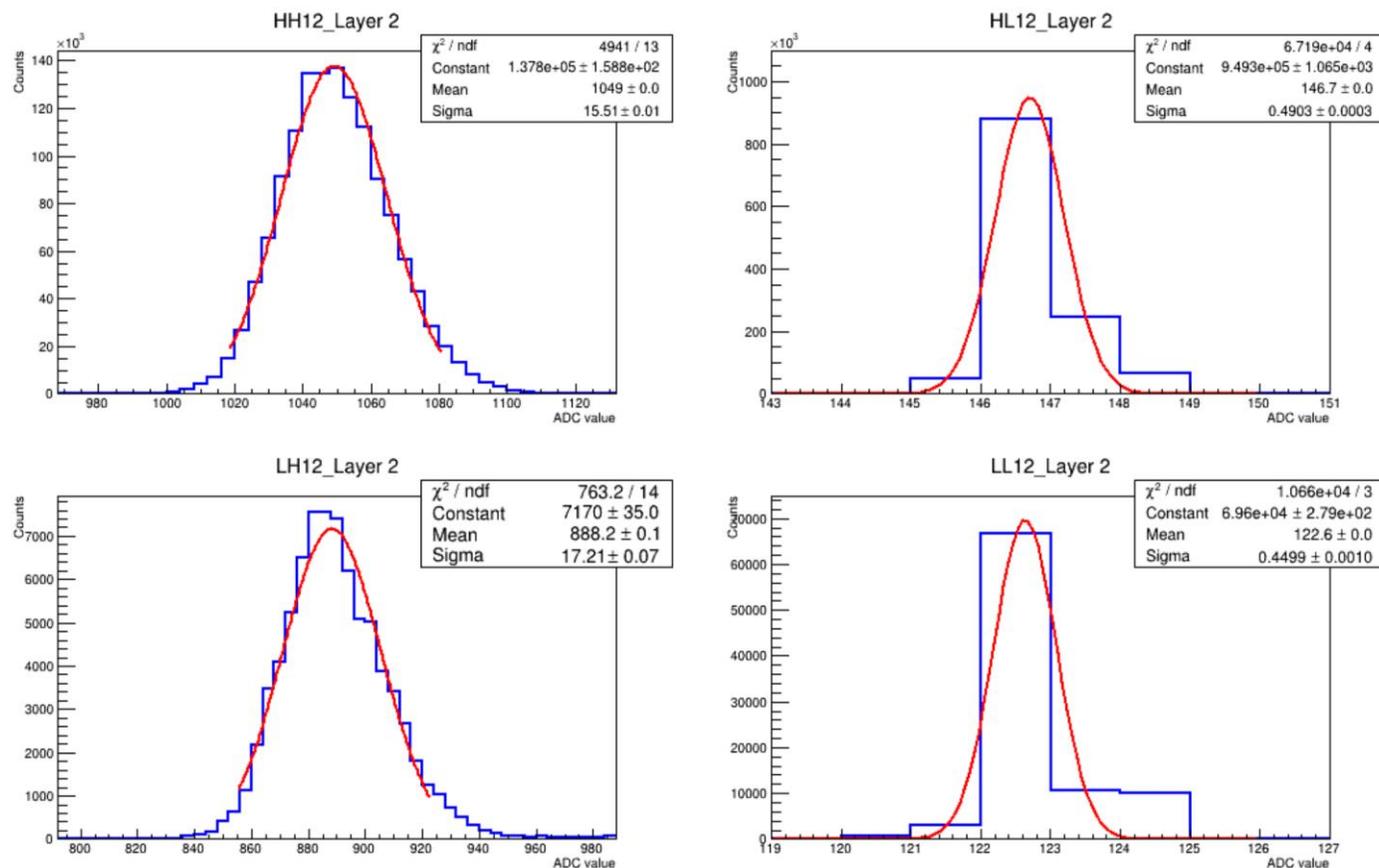
拟合结果汇总



不同通道的信号之间存在较大差异

12 GeV/c Pion 台基

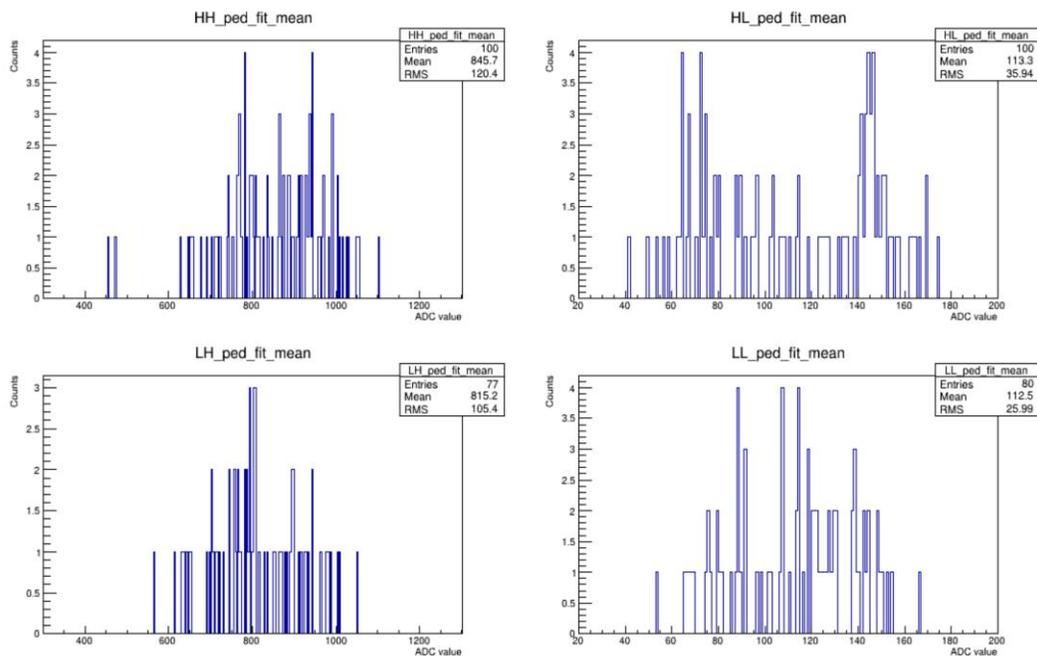
台基的典型拟合结果



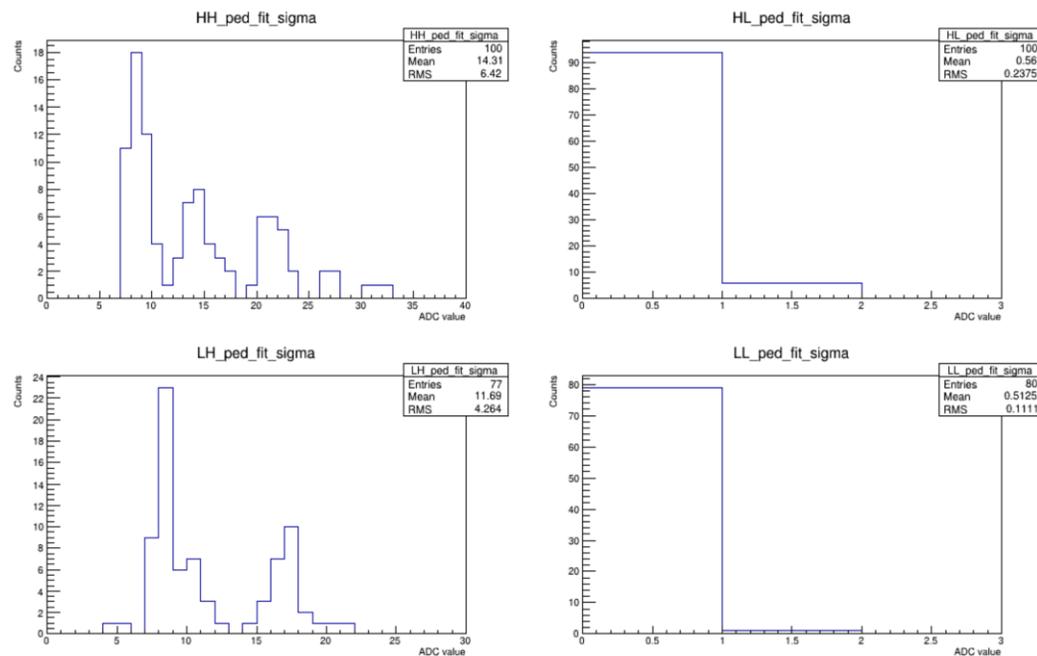
高增益通道的台基中心值在 900 道左右，低增益通道在 130 道左右

12 GeV/c Pion 台基

不同通道的拟合中心值



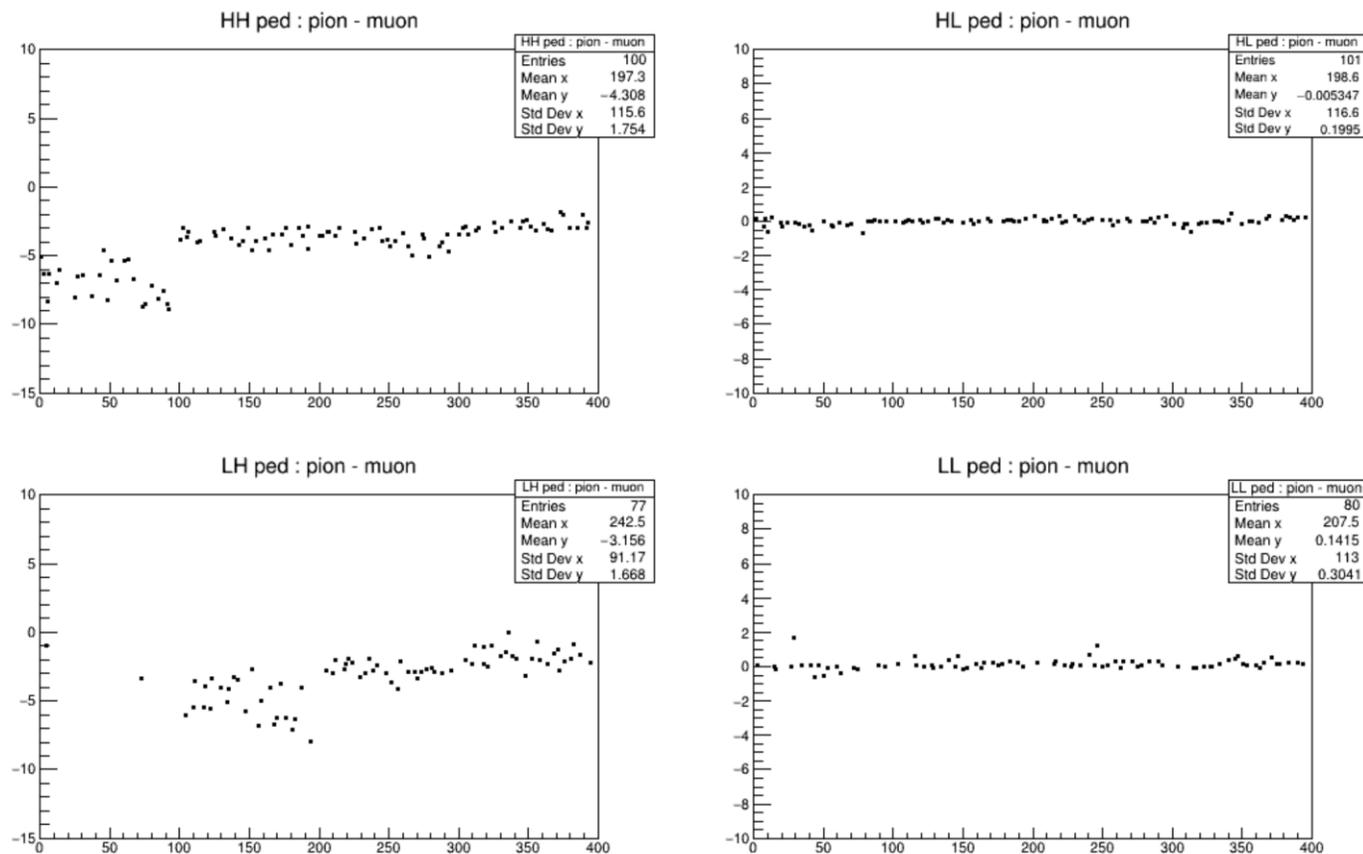
不同通道的拟合标准差



不同通道的台基之间存在较大差异

Pion 与 Muon 台基差异

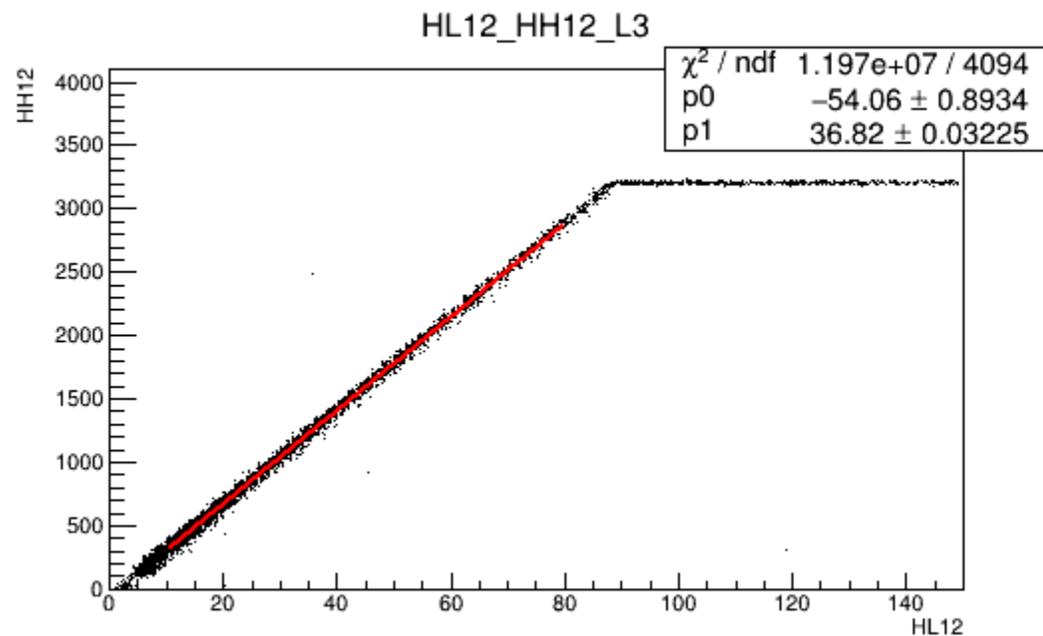
不同粒子台基的差异



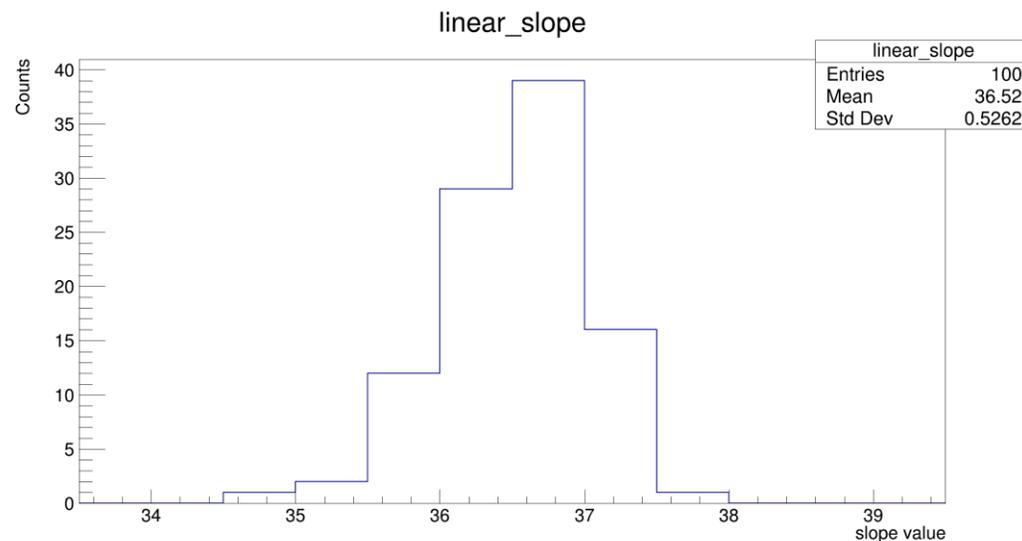
Pion 的高增益通道台基中心值偏小 3 道左右，低增益通道几乎相等

12 GeV/c Pion 高低增益的线性

HL - HH 通道典型结果



拟合斜率汇总

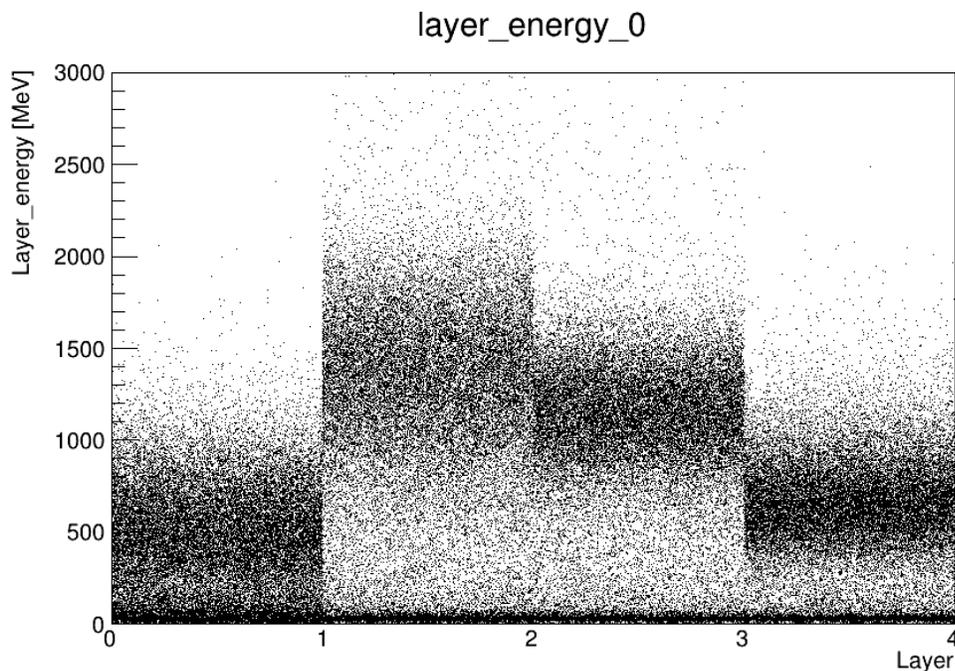


其他通道的信号之间存在较为明显的串扰，用一次多项式的拟合效果较差

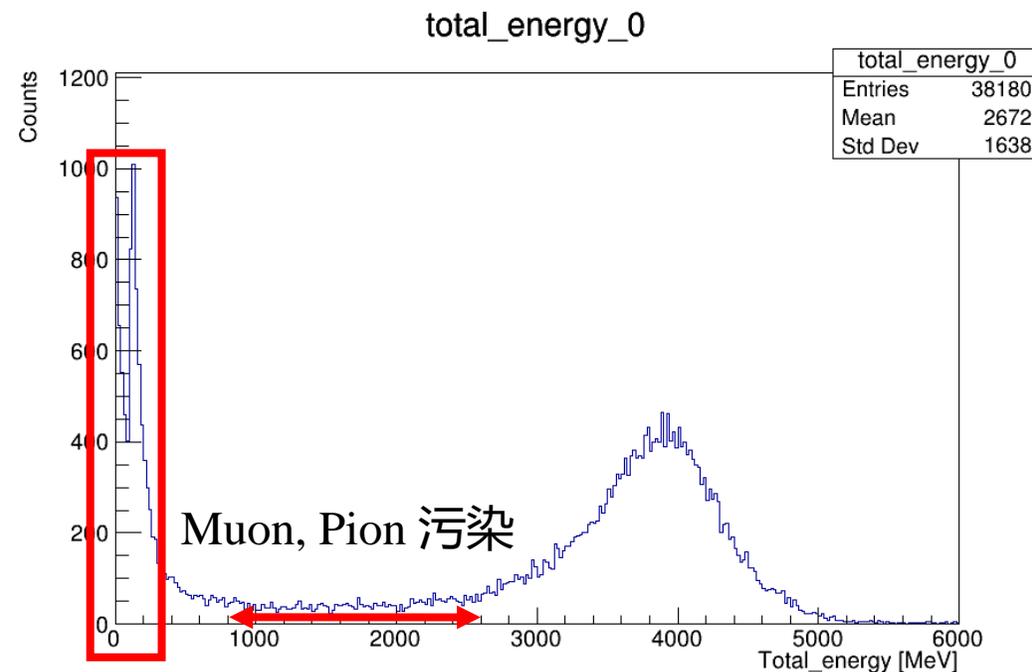
5 GeV/c Electron

未经选择的电子能谱

每层的能量沉积分布



电子总能谱

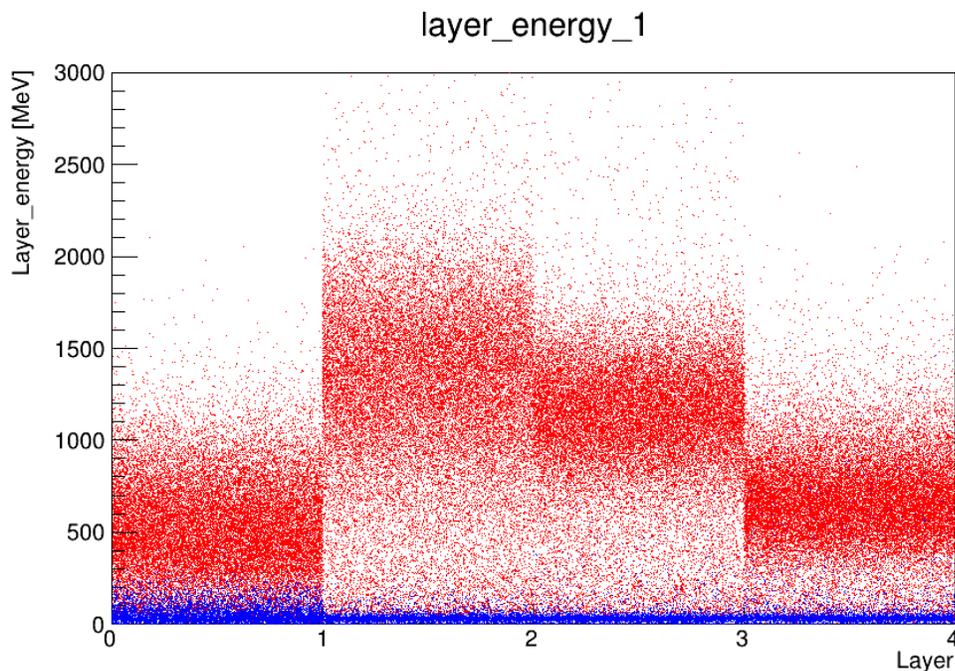


每块小晶体的能量阈值设为 5 MeV, 1 个 MIP 对应的能量设为 28 MeV

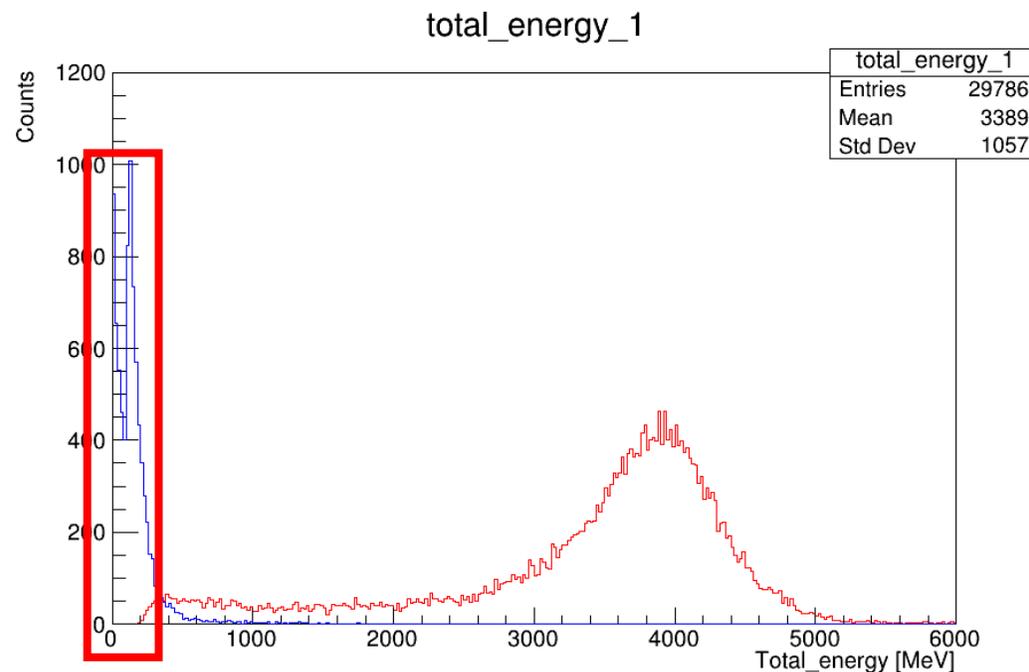
5 GeV/c Electron

去掉低能端拖尾的能谱

每层的能量沉积分布



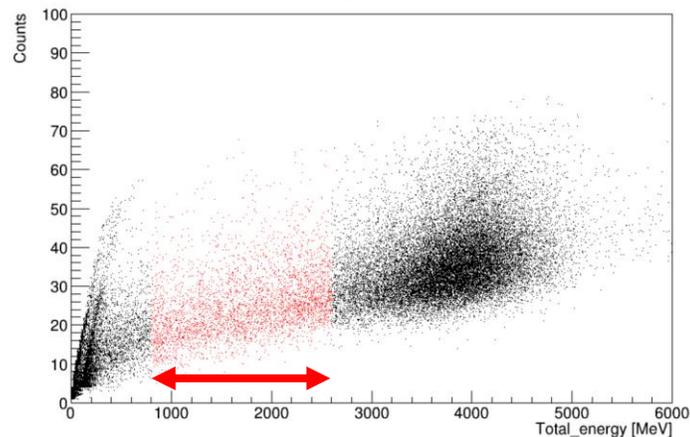
电子总能谱



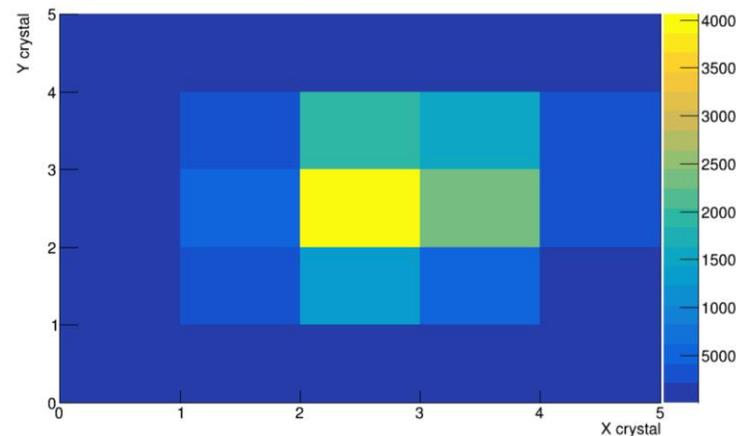
筛选条件：某一事例中单层晶体内的能量沉积 > 2 MIPs，层数 ≥ 3

去掉中能区的计数低段

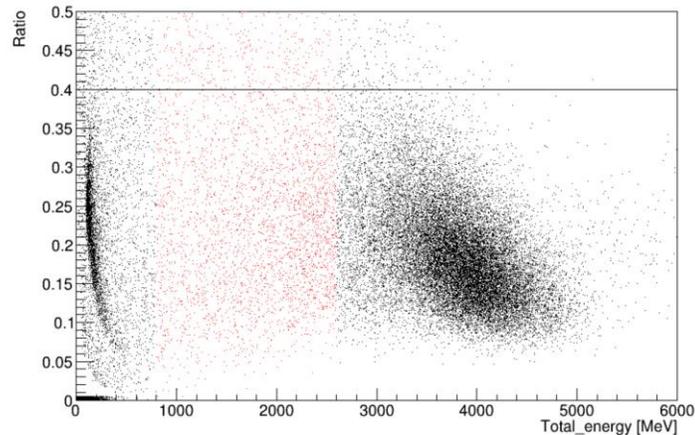
每个事例的击中数



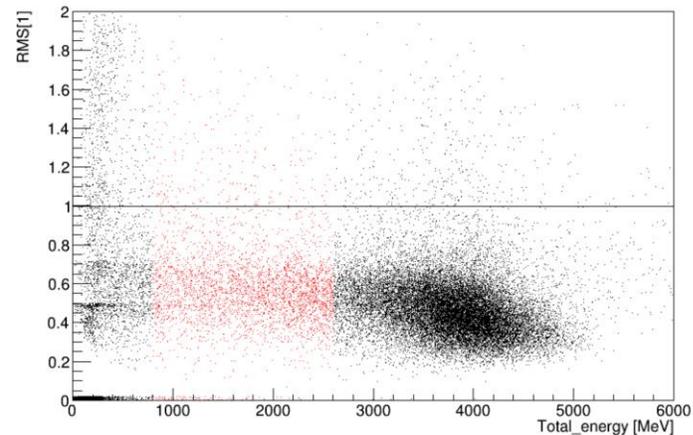
能量最大的晶体位置分布



最后一层的能量占比



第二层的能量_rms[位置标准差]



5 GeV/c Electron

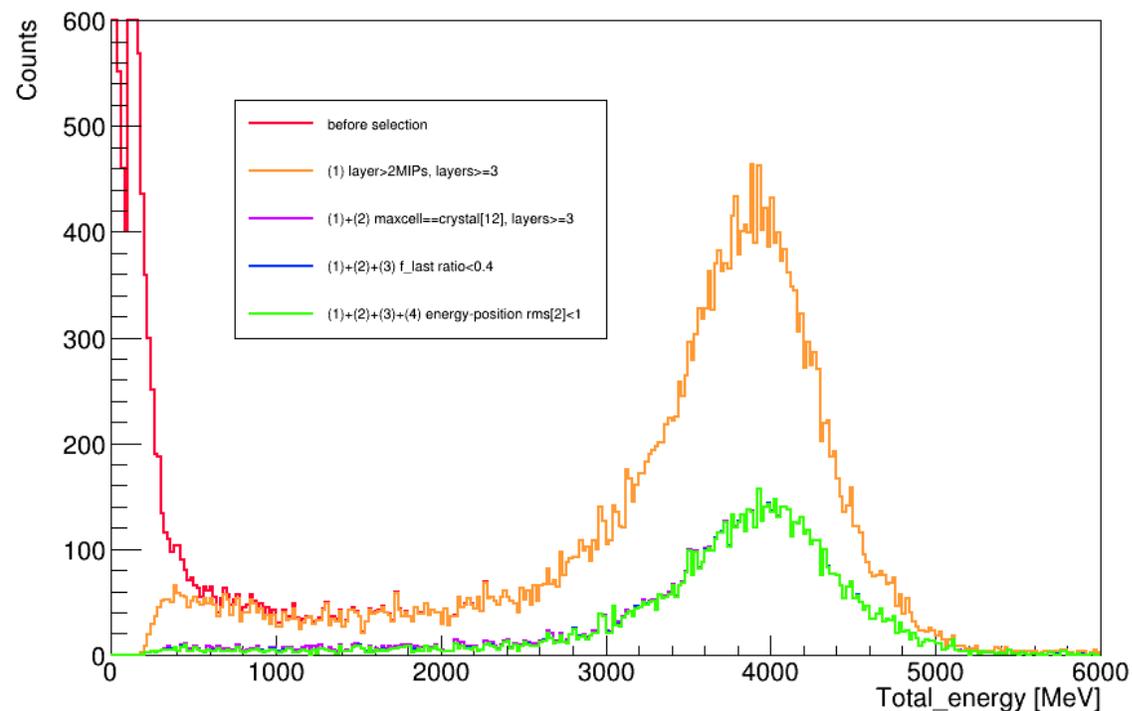
经过筛选后的电子能谱

筛选条件和效率

selected condition	counts	ratio
(0) none	38180	100.00%
(1) layer>2 MIPs, layer>=3	29786	78.01%
(1)+(2) maxcell==crystal[12], layer>=3	8913	23.34%
(1)+(2)+(3) layer[3]/total<0.4	8682	22.74%
(1)+(2)+(3)+(4) RMS[1]<1	8631	22.61%

5 GeV/c 电子能谱

total_energy_0

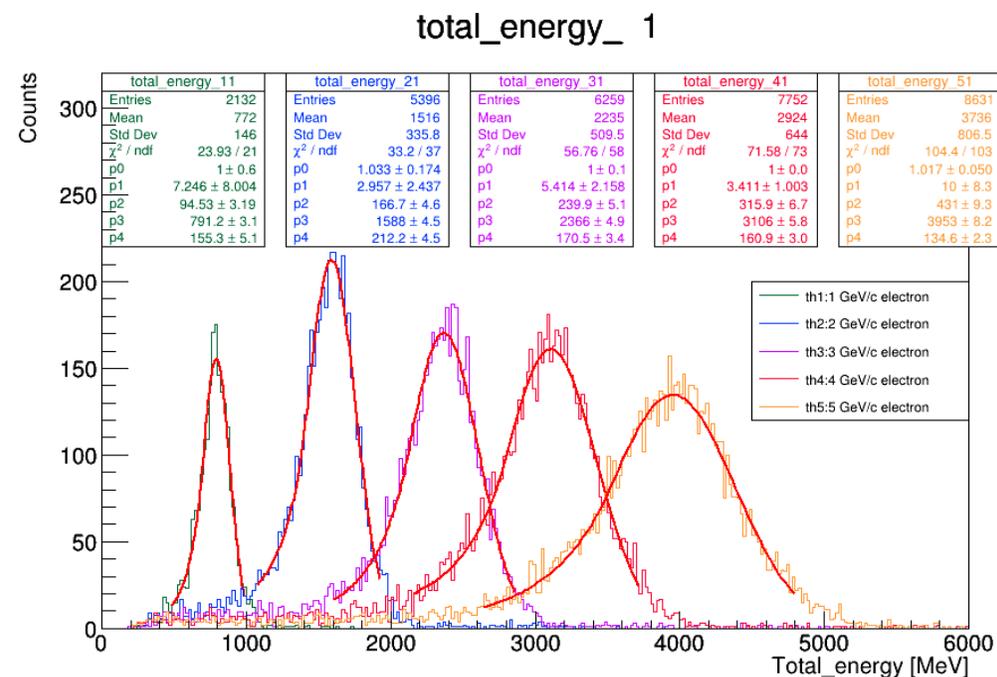
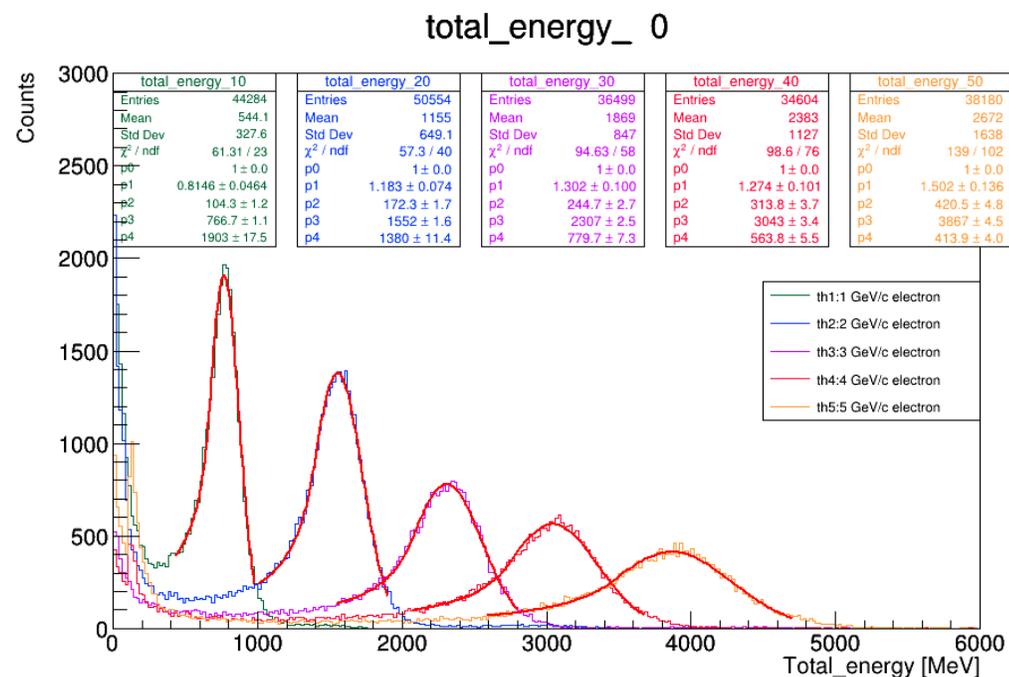


Electron summary

结果汇总

筛选前的电子能谱

筛选后的电子能谱



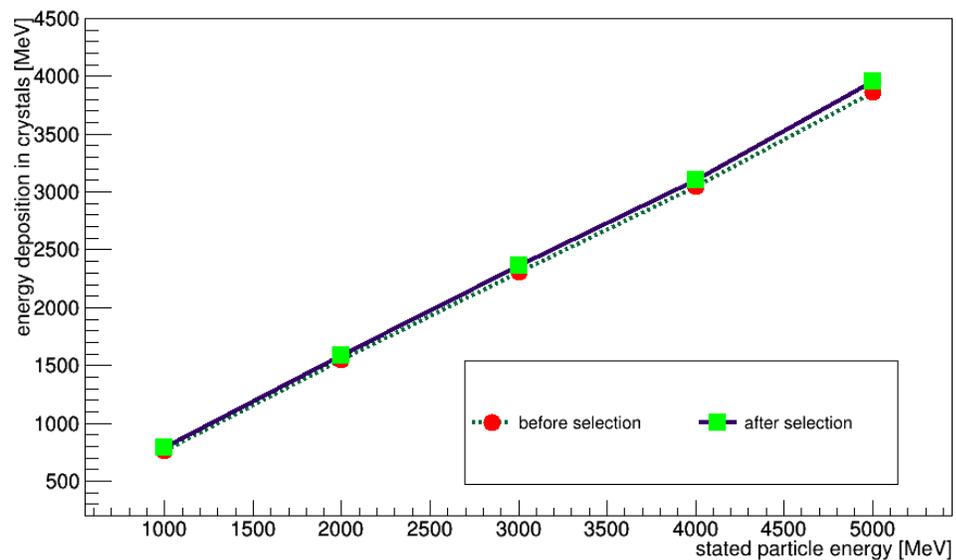
Electron summary

结果汇总

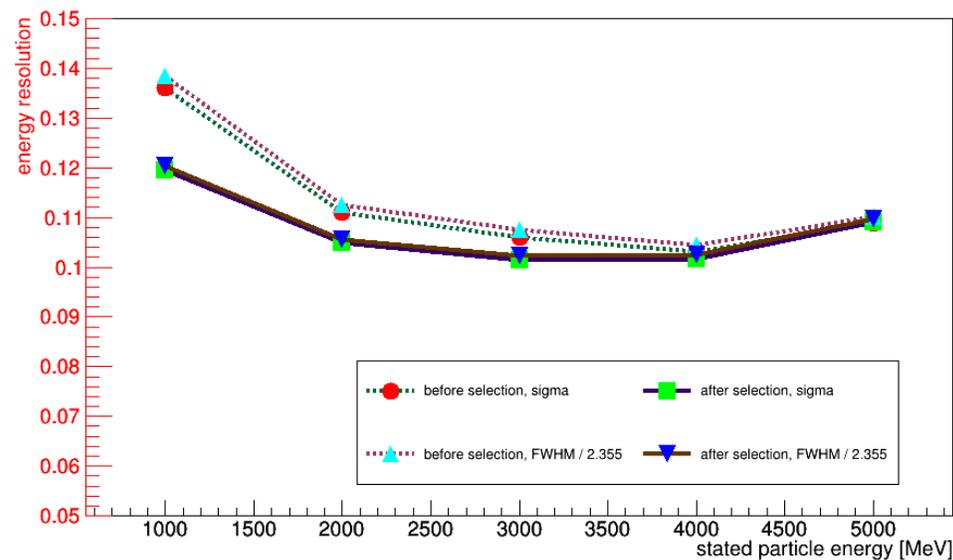
RunID	energy	total counts	effective counts	fit center	fit sigma	FWHM	energy resolution
178, 179, 181, 182, 183	1000	44284	2132	791.23	94.53	224.33	11.95%
168, 169, 171, 172, 174, 176	2000	50554	5396	1588.08	166.68	394.88	10.50%
162, 163, 165, 166	3000	36499	6259	2365.62	239.95	569.64	10.14%
155, 156, 157, 159	4000	34604	7752	3106.42	315.90	750.62	10.17%
185, 186, 188, 189, 190	5000	38180	8631	3953.46	431.00	1021.02	10.90%

electron

electron



能量线性



能量分辨率



总结与展望



本报告主要对以下 3 个方面的内容进行介绍:

- HEIC-Cube 样机的研制和在 PS 的束流测试情况;
- 利用 Muon 和 Pion 的测试数据, 标定量能器的基础参数;
- 利用刻度参数, 对电子能谱进行了初步分析;

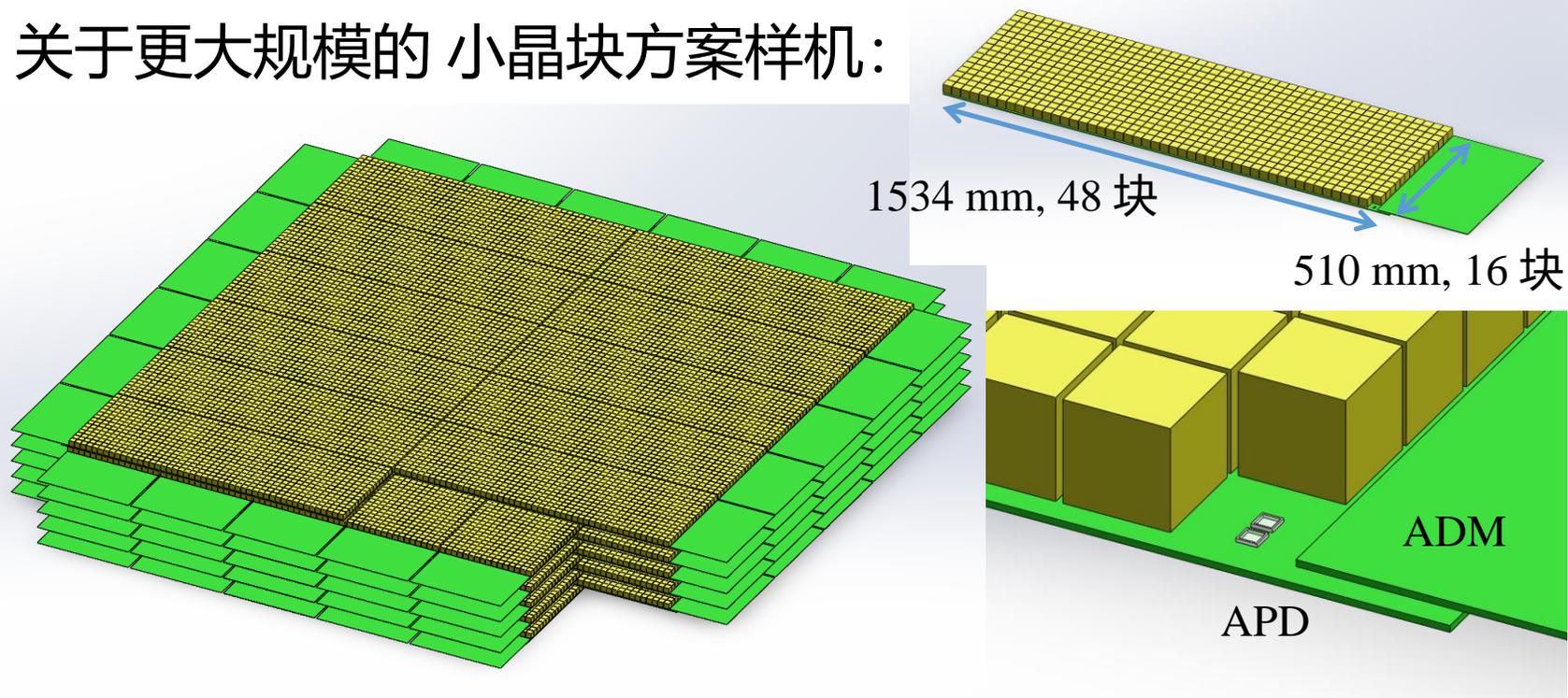
近期工作计划:

- 结合 STK 的径迹信息, 对电子事例做进一步的精细筛选;
- 结合蒙卡的模拟结果, 评估和优化电子能谱的筛选条件;
- 电子学通道之间存在较为严重的串扰, 需要量化并去除;
- 选取合适的事例, 分析 SPS 的测试数据, 研究量能器参数的稳定性, 以及粒子直接击中 APD 时对输出信号的干扰;

关于2024年的束流测试:

- HEIC-Cube 样机的尺寸较小, 计划再做同样的 5 行 \times 5 列 \times 6 层组成 10 层, 用于测试更高能的电子;

关于更大规模的小晶块方案样机:



- 尝试制作一块 0.5 m \times 1.5 m 的模块, 测试其相关性能;





欢迎大家的批评和指正

Thank you for your attention!

