

# LYSO 晶体性能研究

王志刚

2017-04-11

2017年核探测与核电子学国家重点实验室年会，合肥

# 常用晶体性能对比

Crystal	NaI(Tl)	CsI(Tl)	CsI(Na)	CsI	BaF2	CeF2	BGO	PWO(Y)	LYSO(Ce)
Density(g/cm <sup>3</sup> )	3.67	4.51	4.51	4.51	4.89	6.16	7.13	8.3	7.40
Melting Point(OC)	651	621	621	621	1280	1460	1050	1123	2050
Radiation Length(cm)	2.59	1.86	1.86	1.86	2.03	1.70	1.12	0.89	1.14
Interaction Length(cm)	42.9	39.3	39.3	39.3	30.7	23.2	22.8	20.7	20.9
Moliere Radius(cm)	4.13	3.57	3.57	3.57	3.10	2.41	2.23	2.00	2.07
Refractive Index	1.85	1.79	1.95	1.95	1.50	1.62	2.15	2.20	1.82
Hygroscopicity	Yes	Slight	Slight	Slight	No	No	No	No	No
Luminescence (nm) (at peak)	410	550	420	420 310	300 220	340 300	480	425 420	420
Decay Time (ns)	245	1220	690	30 6	650 0.9	30	300	30 10	40
Light Yield(%)	100	165	88	3.6 1.1	36 4.1	7.3	21	0.3 0.1	85
d(LY)/dT(%/OC)	-0.2	0.4	0.4	-1.4	-1.9 0.1	0	-0.9	-2.5	-0.2

# The High Energy Cosmic Radiation Detection Facility (中国空间站高能宇宙辐射探测设施)

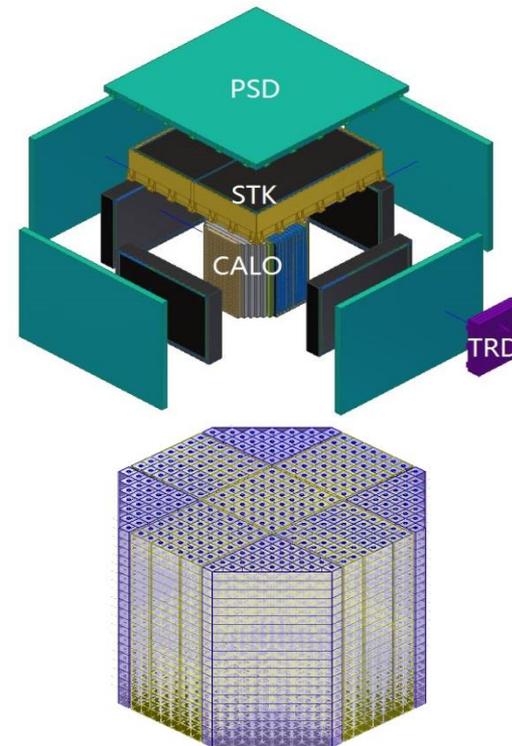
## 科学目标及需求

### ◆ 暗物质探测与伽马天文

- ✓ 电子、 $\gamma$ 能区10GeV-10TeV
- ✓ 能量分辨率 $<2\%$ @100GeV
- ✓ 角分辨 $<0.1\text{deg}$
- ✓ e/p鉴别 $<10^{-5}$
- ✓ e/ $\gamma$ 鉴别 $<10^{-4}$

### ◆ 宇宙线起源

- ✓ 探测能区30GeV-PeV
- ✓ 能量分辨率20%@100GeV
- ✓ 角分辨 $1\text{deg}$ @1TeV
- ✓ 电荷分辨0.1e up to Fe, 0.5e up to U
- ✓ 有效几何接受度 $>3\text{m}^2\text{sr}$



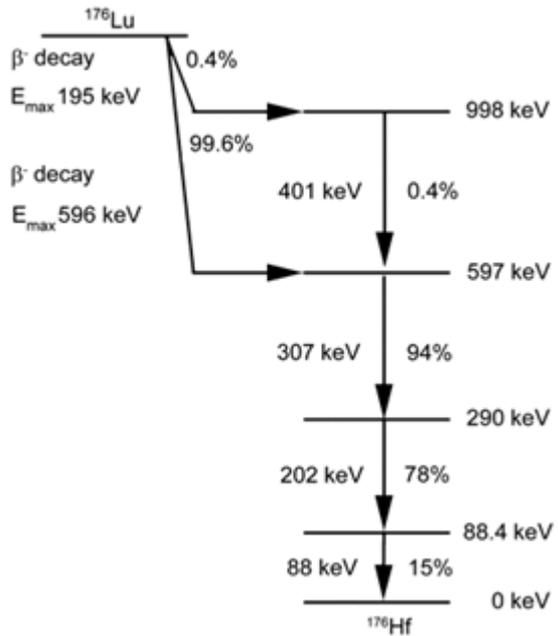
LYSO size:  $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$

Detector dimension:  $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 60\text{cm}$

LYSO number:  $\sim 7500$

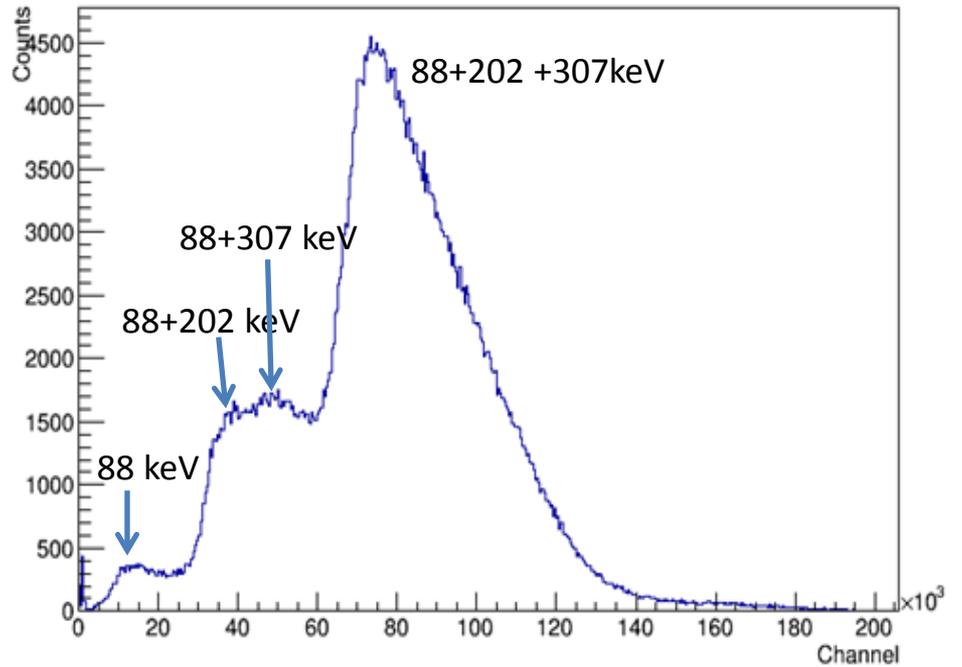
Weight:  $\sim 1500\text{ kg}$

# LYSO本底



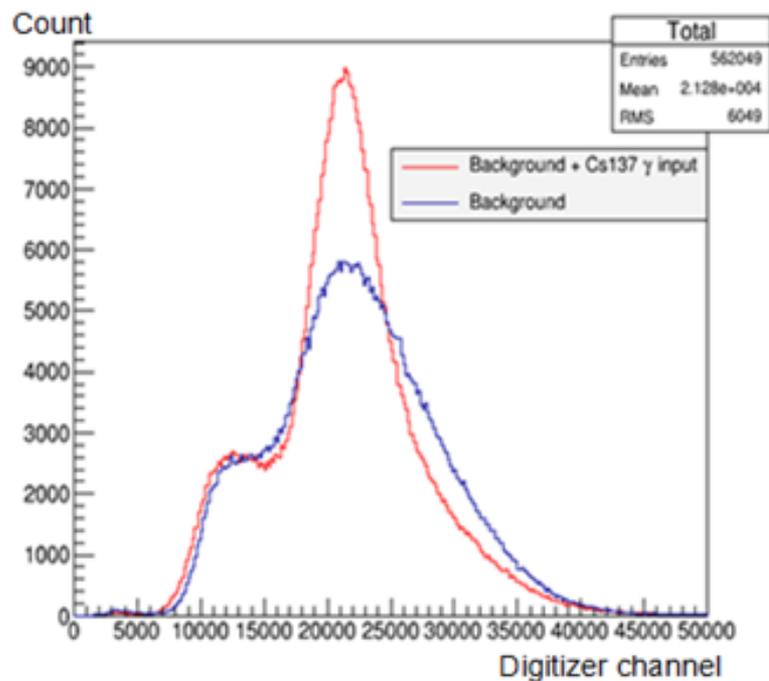
Lu176衰变纲图

LYSO internal energy deposition

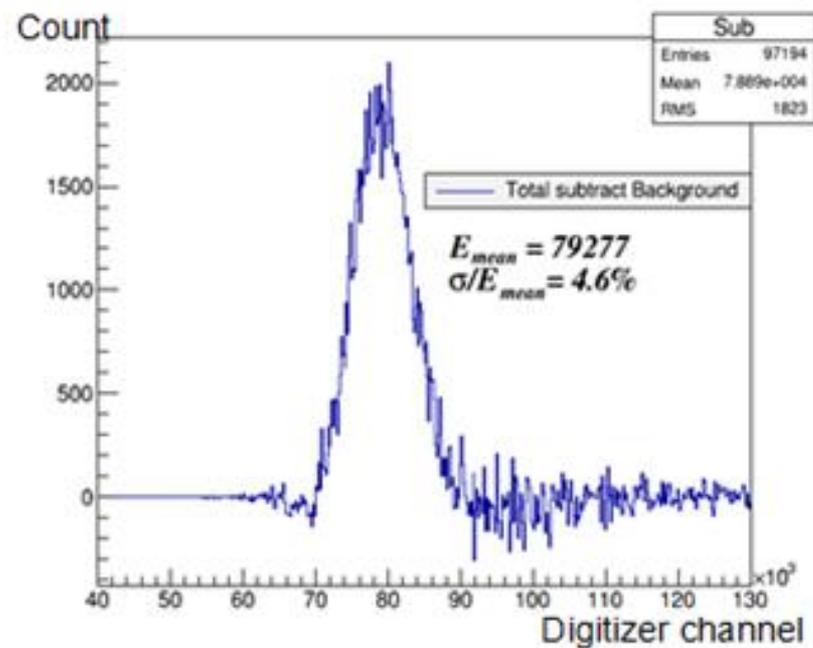


LYSO 本底能谱

# LYSO 能量分辨率



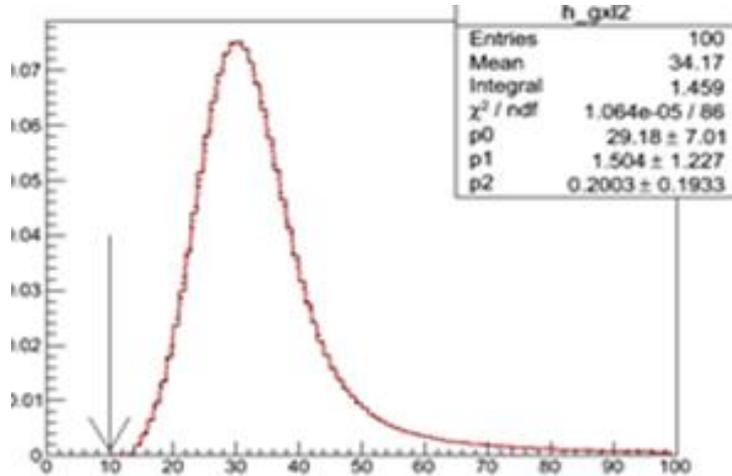
LYSO 本底以及Cs137 能谱



LYSO Cs137 能谱

LYSO 能量分辨率 4.6%@662keV

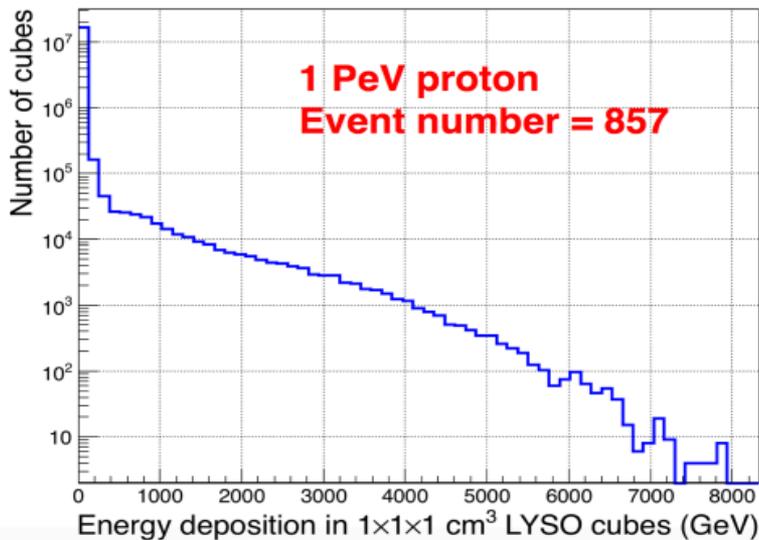
# HERD 探测单元沉积能量范围估计



MIP 事例在3cm LYSO 中沉积能量:

30 MeV

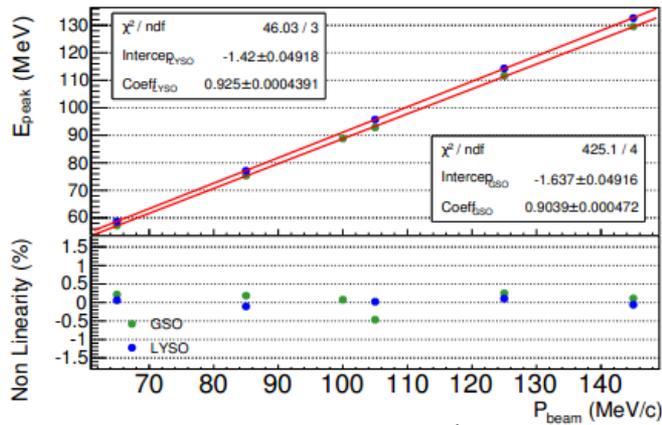
取1/3MIP作为探测单元, 即 10MeV



MC 结果显示, 1 PeV 质子入射时, 簇射中心区域能量沉积密度达到8TeV/cm<sup>3</sup>.

HERD 探测单元能量探测范围为10MeV-8TeV, LYSO在如此大范围的能区内, 光输出是否能保持线性?

# LYSO 光输出线性已有实验结果



978-1-4799-6097-2/14/\$31.0@IEEE

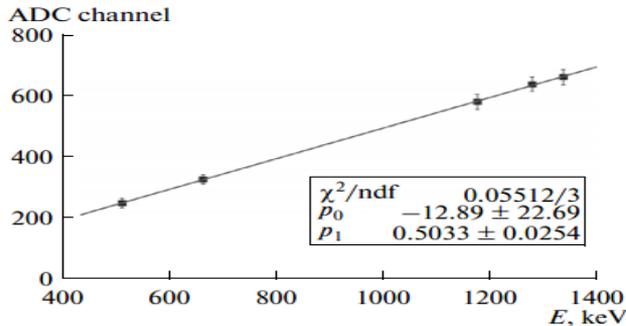
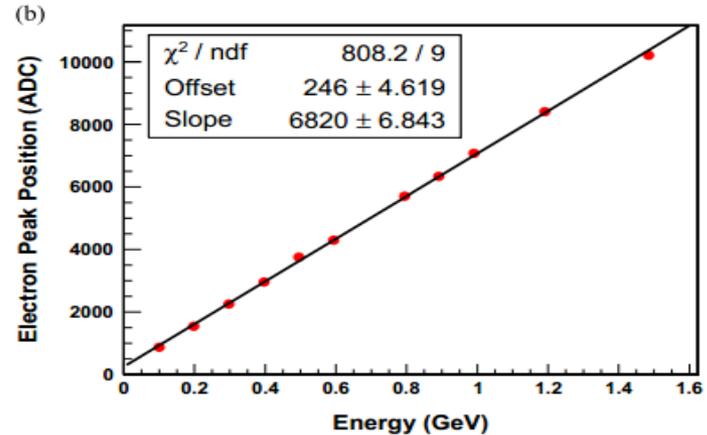


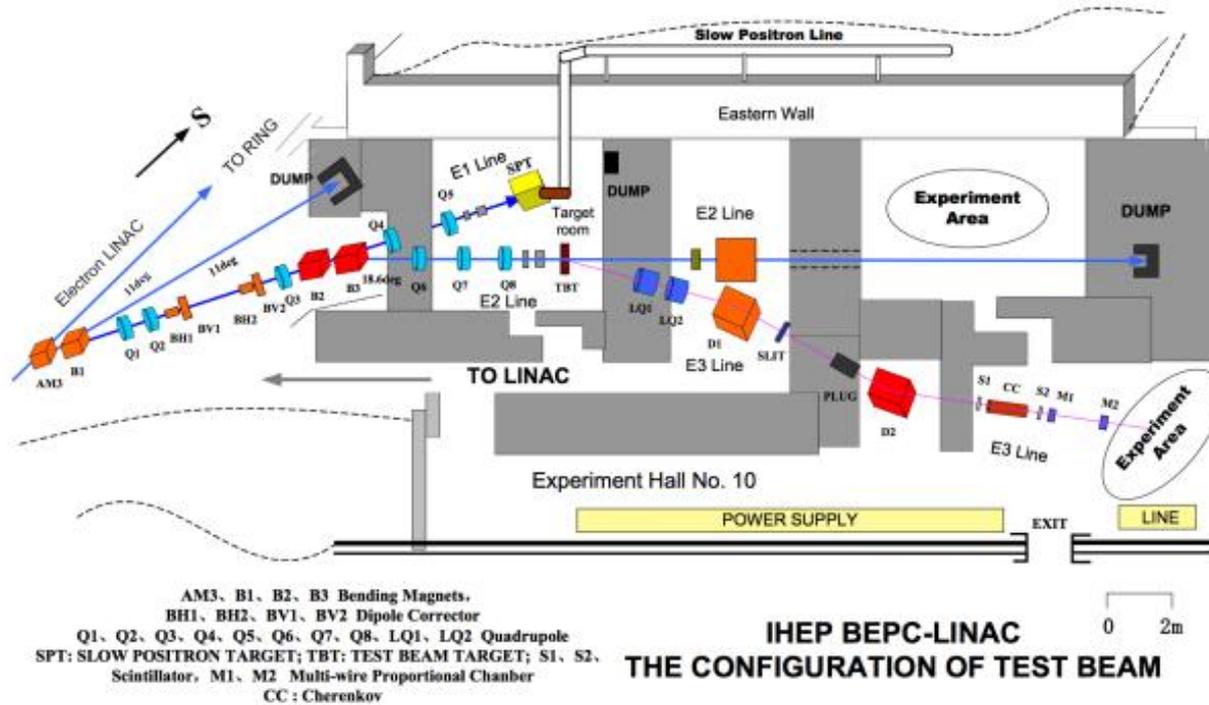
Fig. 15. The  $10 \times 10 \times 10$  mm LYSO crystal energy response linearity in the 511–1333 keV range measured by the S8664-1010 Hamamatsu APD.



Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 763 (2014) 248– 254

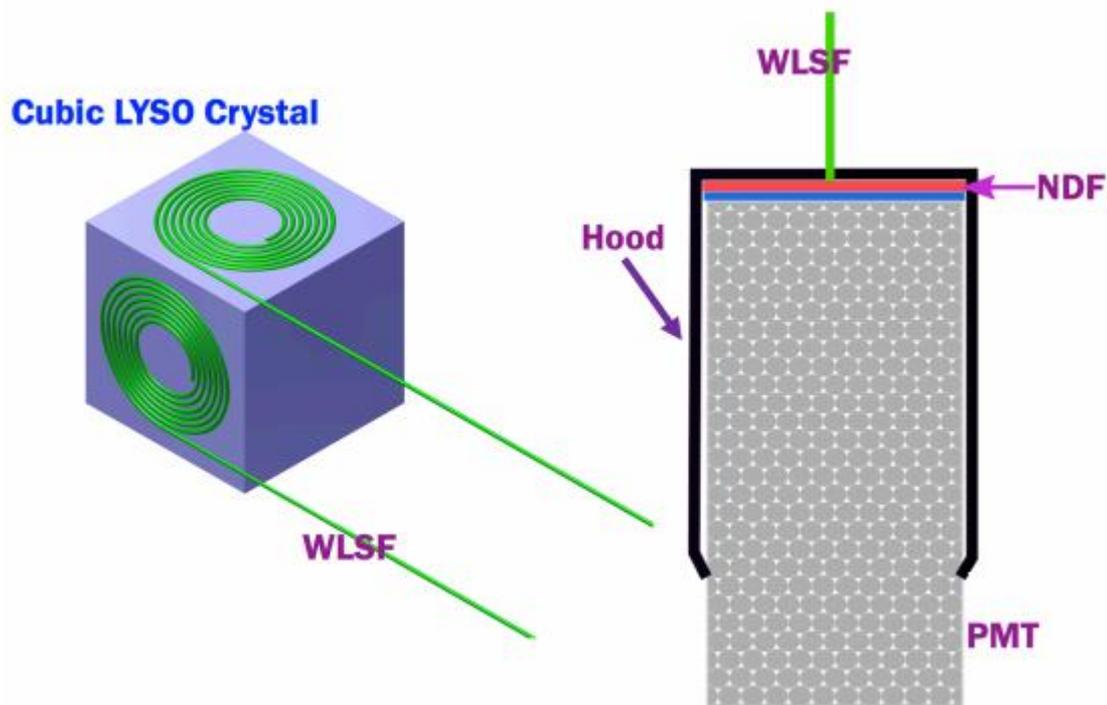
现有文献表明：  
LYSO光输出在沉积能量  $< 1.5\text{GeV}$ 时，  
光输出保持线性。

# BEPC E2 and E3 Line



- **E2 束参数:**  
 粒子类型: 电子 ; 粒子能量: 2.5 GeV  
 束流强度:  $10^3$ - $10^{10}$  电子/束团; 束流频率: 12.5 Hz  
 束斑大小:  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ ; 束流脉冲时间宽度: 20 ps
- **E3束:** 600 MeV/c-1.2 Ge V/c的Pion 和质子

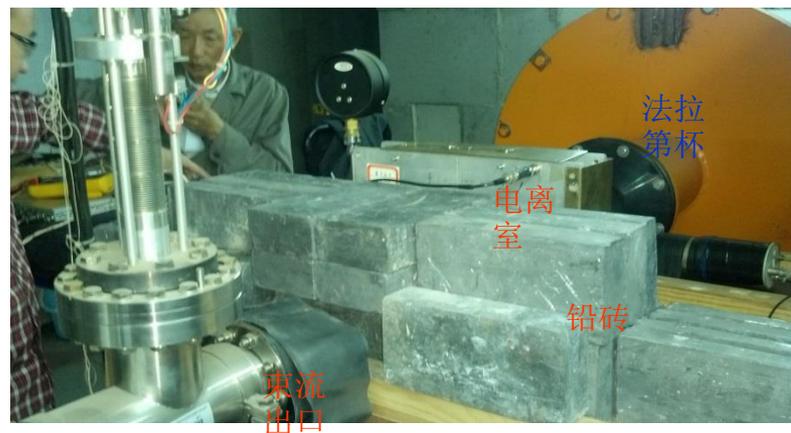
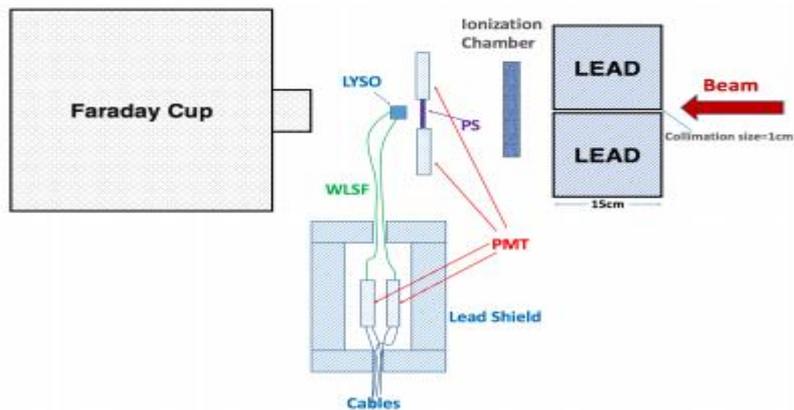
# LYSO测试单元读出结构



LYSO 晶体：3cm × 3cm × 3cm

WLSF：直径0.3mm，两路贴在LYSO晶体表面引出光信号  
光电倍增管+衰减片，两路，高/低量程读出

# E2 束实验装置



# 束流强度监测

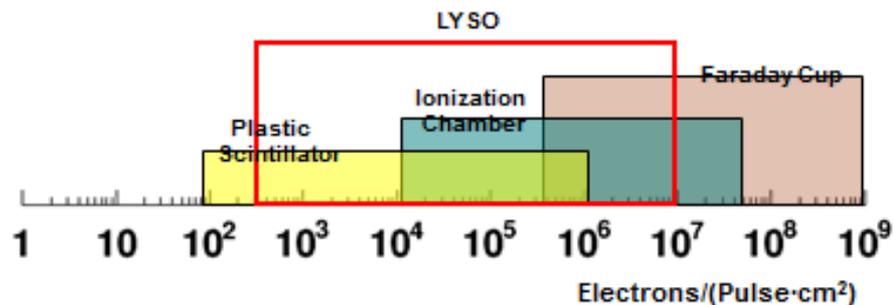
E2 线提供两个用于监测束流强度的设备：

**法拉第杯(Faraday Cup, FC):** FC是可以直接给出束流绝对入射强度的设备，但是灵敏度有限，只能探测  $> 10^6$  electrons/pulse 的强度。

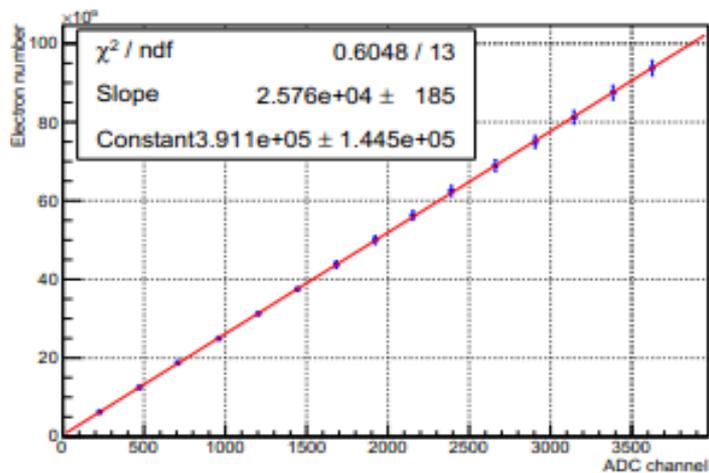
**电离室(Ionization Chamber, IC):** 探测范围  $10^4$ – $10^7$  electrons/pulse。

**自制塑闪探测器(Plastic Scintillator, PS):** 探测范围  $10^2$ - $10^5$  electrons/plus.

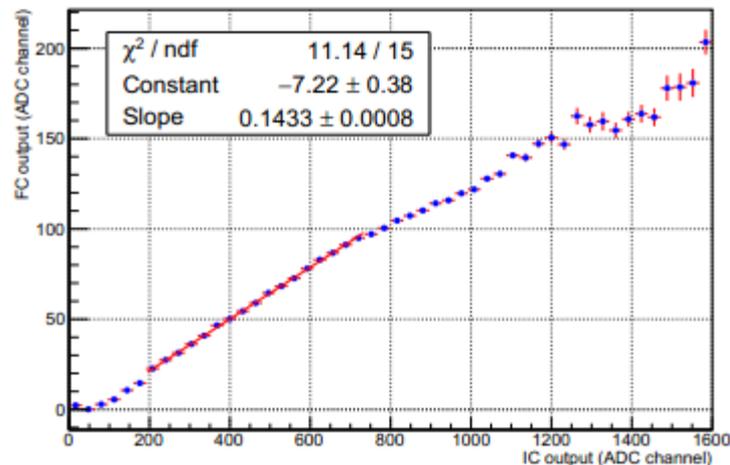
三个束流探测器交叉刻度可以实现  $10^2$ - $10^9$  electrons/plus 监测，满足实验要求。



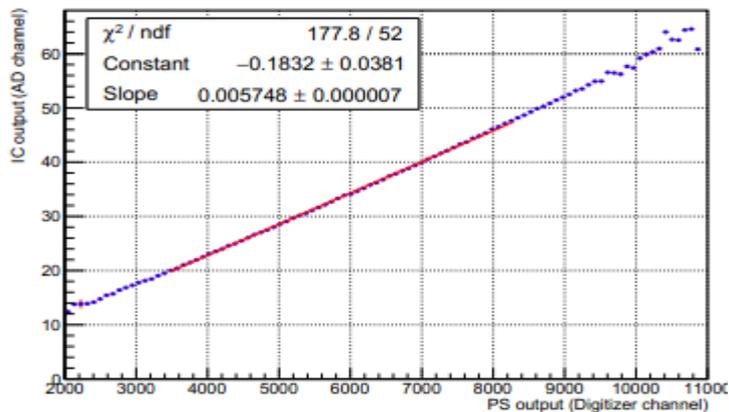
# 束流探测器刻度结果



FC 刻度



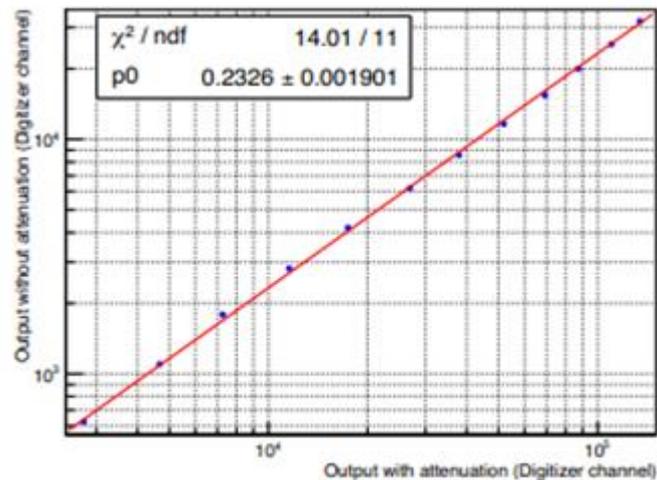
IC 刻度



PS 刻度

FC 通过输入电荷进行刻度  
IC 利用FC进行刻度  
PS 利用IC进行刻度

# 衰减片刻度



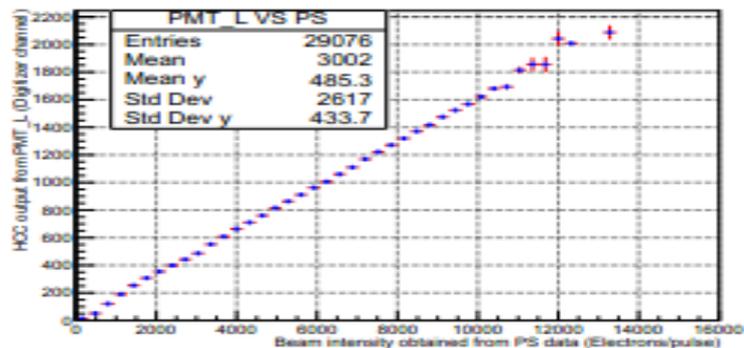
一片透射率为 25% 的 NDF 刻度结果。

实验中使用的四片 NDF 刻度结果。

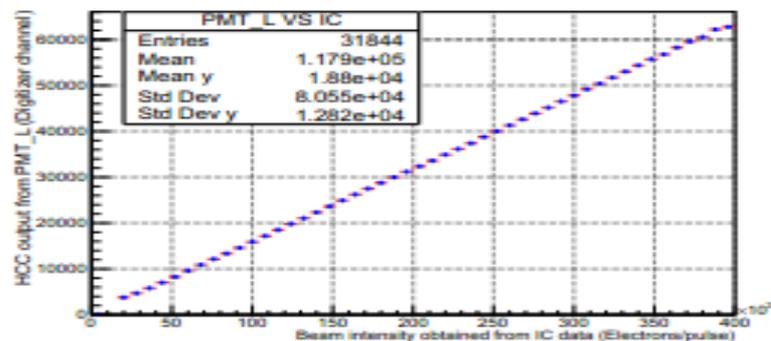
编号	耦合的 PMT	直径 (mm)	光密度 *	标称透射率	实测透射率
1	L	504	0.6	0.251	0.2326
2	L	504	2	0.010	0.0118
3	H	504	1	0.100	0.0828
4	H	504	3	0.001	0.0010

\*: 光密度 (Optical Density, O.D.) 与透射率 (Transmittance) 之间的关系为:  $Transmittance = 10^{-O.D.}$ 。

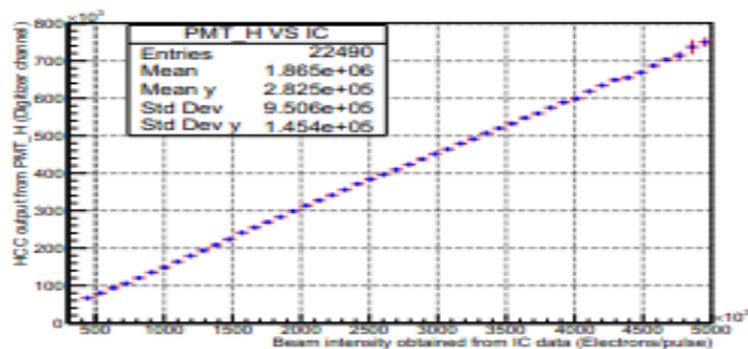
# E2束流实验结果



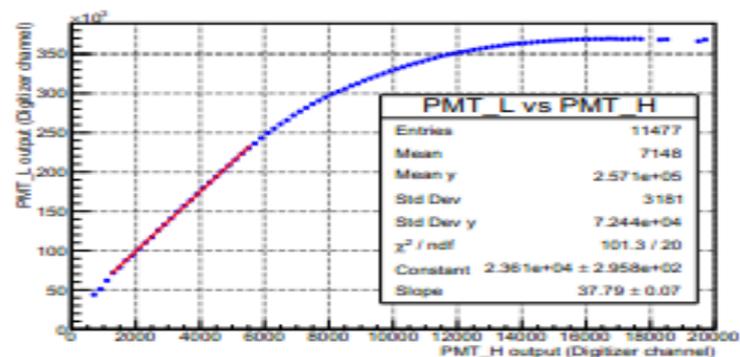
(a) PMT\_L 输出与 PS 输出的关系。



(b) PMT\_L 输出与 IC 输出的关系。

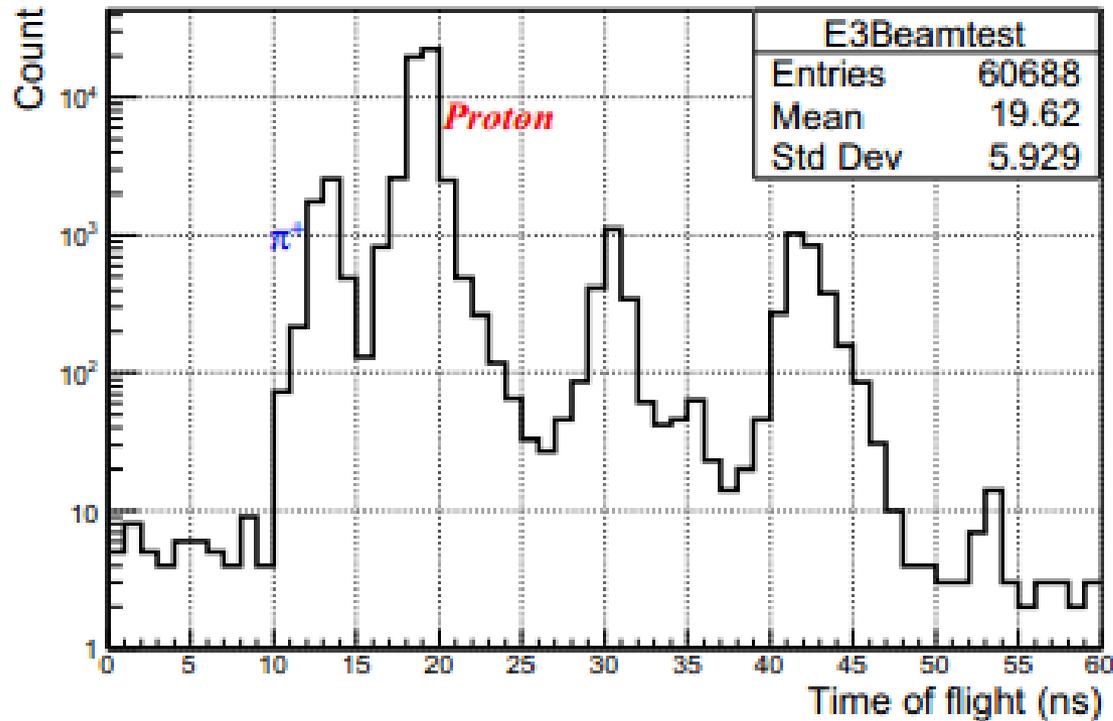


(c) PMT\_H 输出与 IC 输出的关系。



(d) PMT\_L 输出与 PMT\_H 输出的关系。

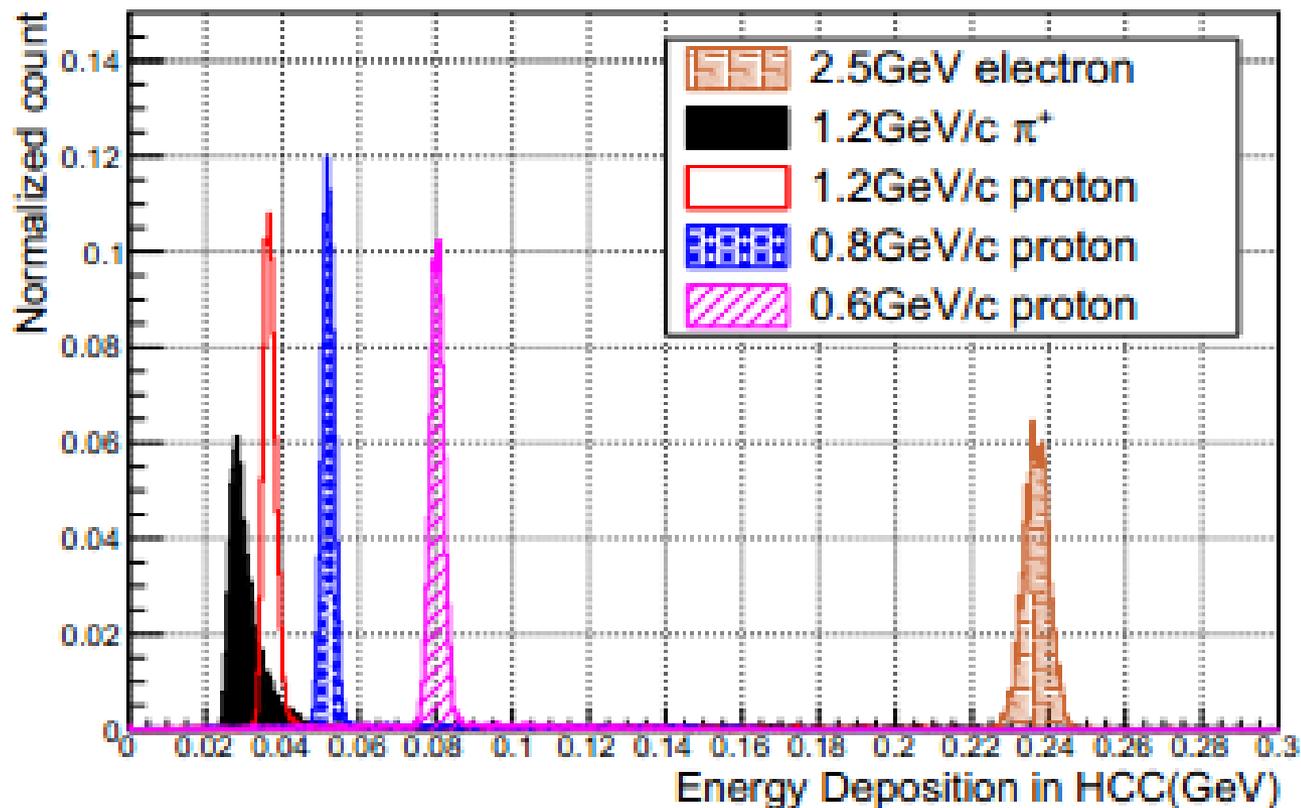
# E3 束单粒子事例



E3束TOF谱

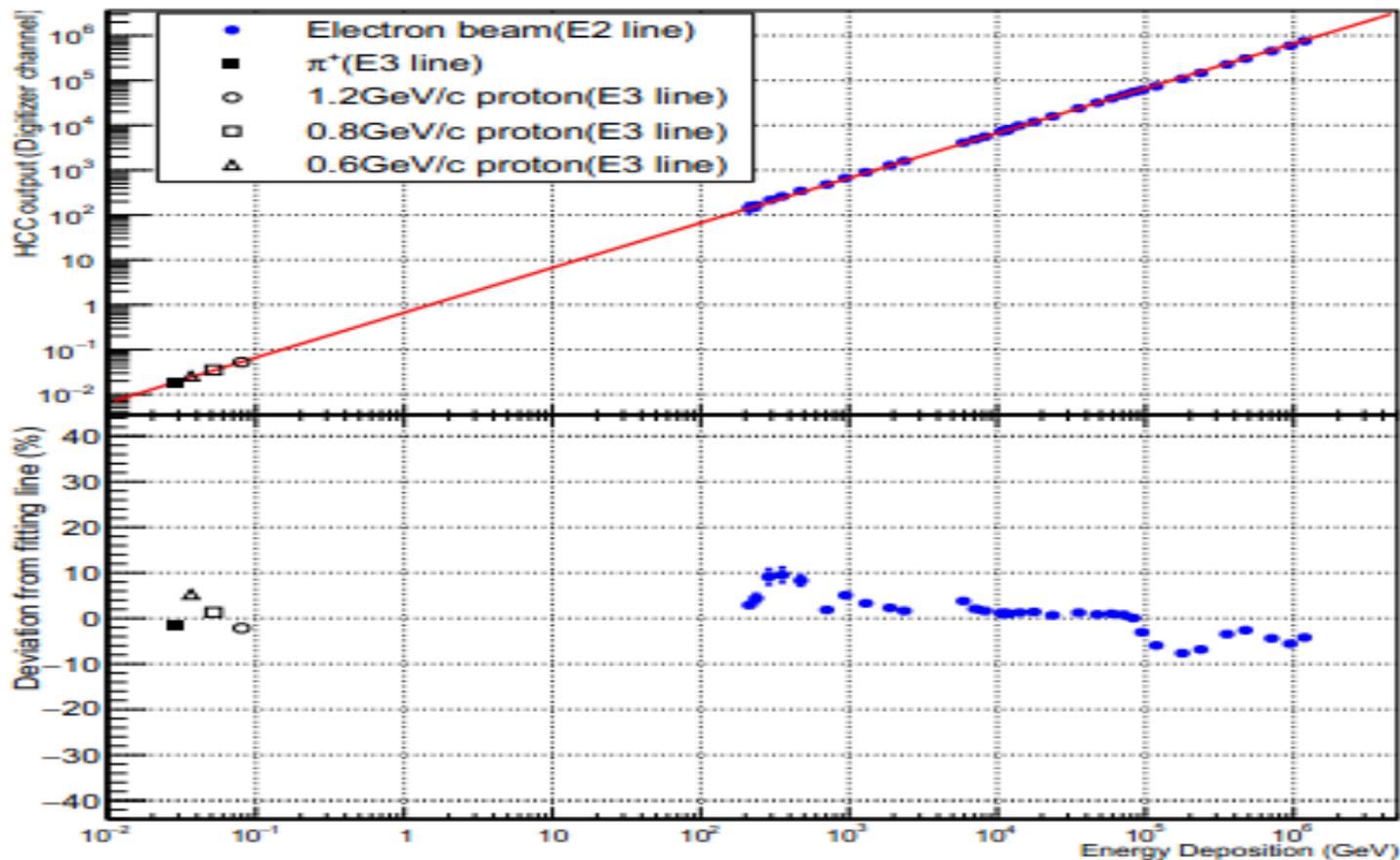
E3束流提供600MeV/c-1.2GeV/c的Pion 和质子，通过TOF进行粒子鉴别。

# E3束流沉积能量



不同能量Pion/质子沉积能量模拟结果

# LYSO晶体光输出线性



在30MeV- $10^6$  GeV能量沉积范围内，LYSO晶体光输出响应非线性小于10%。

# 课题完成情况

课题名称：

“应用于未来高能物理量能器的LYSO晶体特性研究”

经费：10万

发表文章：

“Study of linearity of LYSO crystal for the High Energy cosmic Radiation Detection (HERD) facility”,  
已接收，通讯作者。

期刊：Radiation Detection Technology and Methods (RDTM)

**感谢重点实验室经费支持！**