



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



气体TPC的刻度方法和径迹重建的研究

上海交通大学

报告人：刘元春

—— 饮水思源 · 爱国荣校 ——



1

背景

2

径迹鉴别

3

Muon刻度

4

Ar-37内刻度

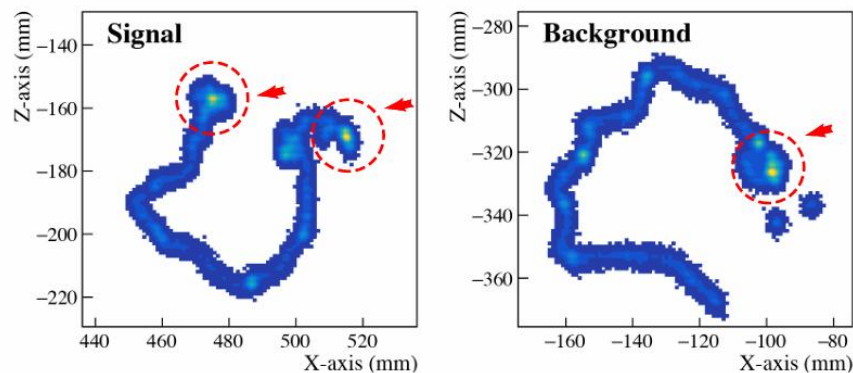
5

电子寿命刻度

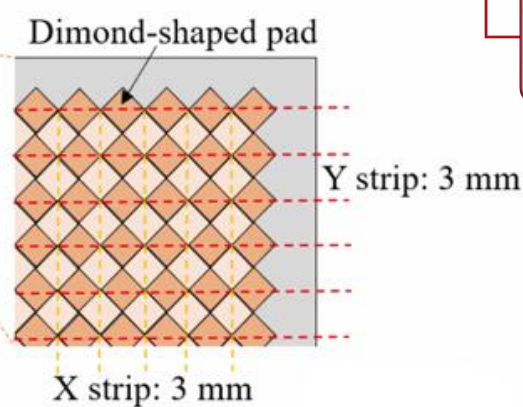
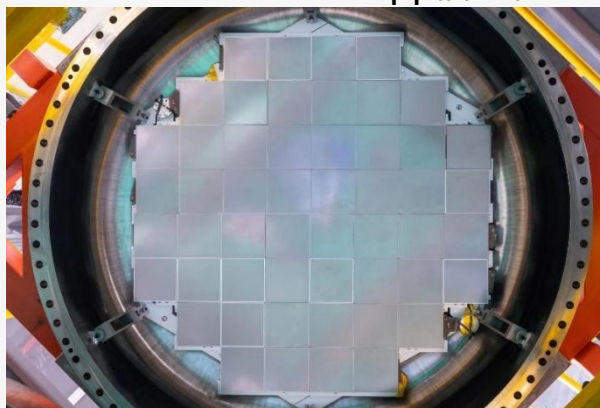
PandaX-III实验



- PandaX-III实验采用高压气氙时间投影室寻找Xe-136无中微子双贝塔衰变
- 52块20cm×20cm的Micromegas, 采用3mm条读出的形式
- 漂移场长为1.2m



$0\nu\beta\beta$ 信号和本底



位置分辨
率

电子寿命

电场畸变

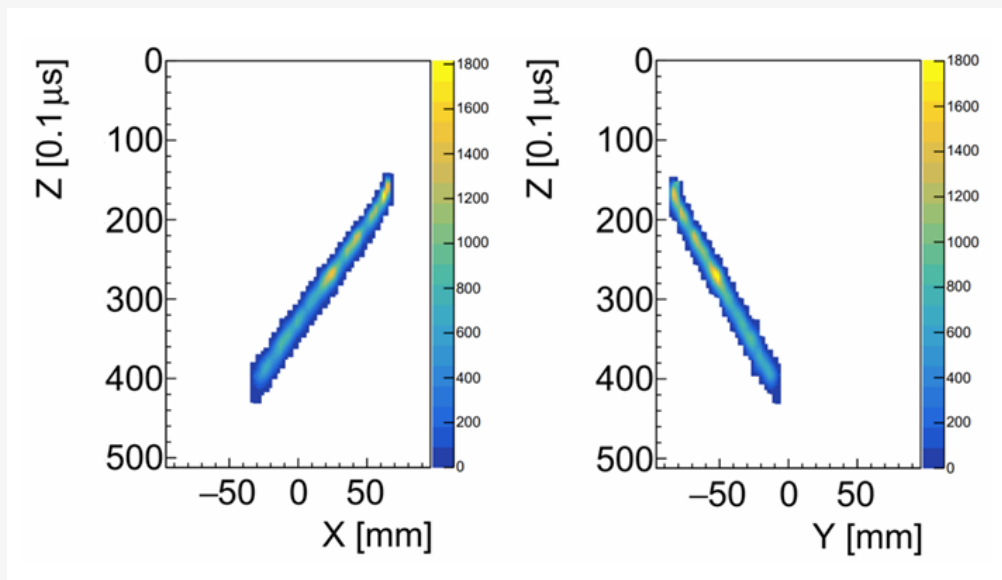
能量分辨
率

增益均匀性

刻度与径迹特征

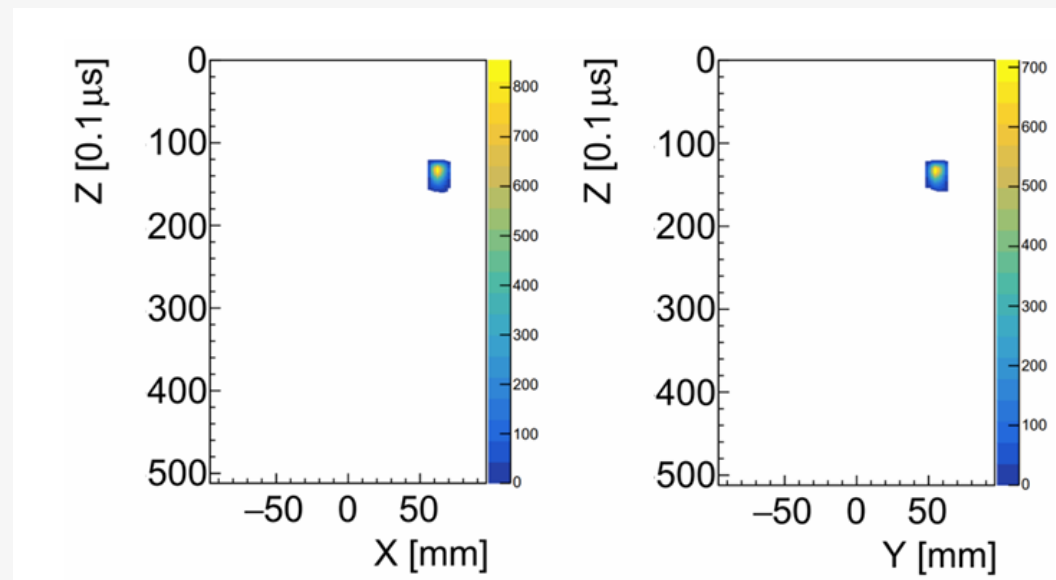


muon径迹



- 径迹长直、穿透性强、覆盖均匀
 - 电子寿命刻度
 - 电场畸变刻度

Ar-37气体源

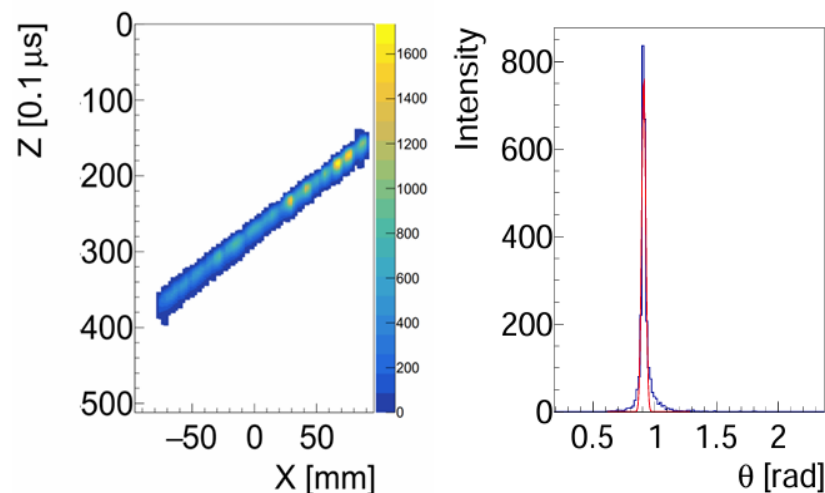


- 径迹成点状
 - 均匀性刻度
 - 电场畸变
 - 增益、能量分辨率刻度

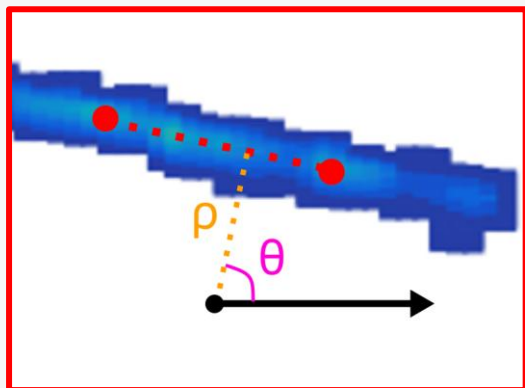
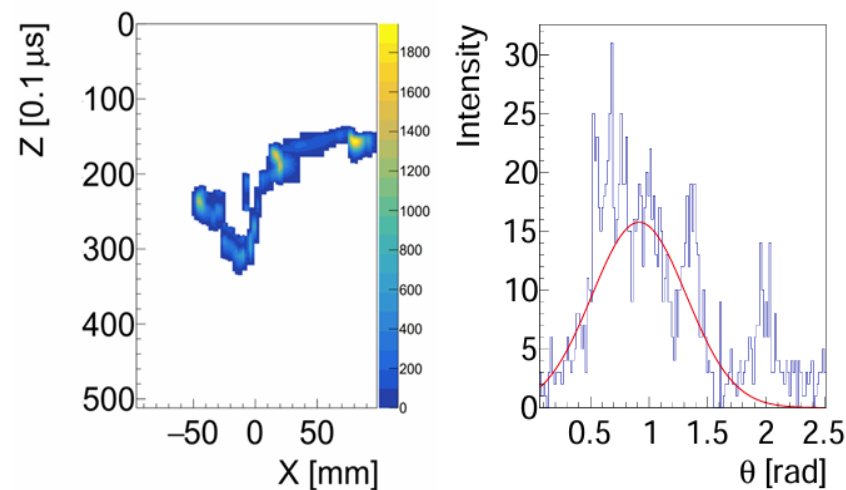
Muon与 β 的径迹鉴别



Muon径迹和 θ 分布

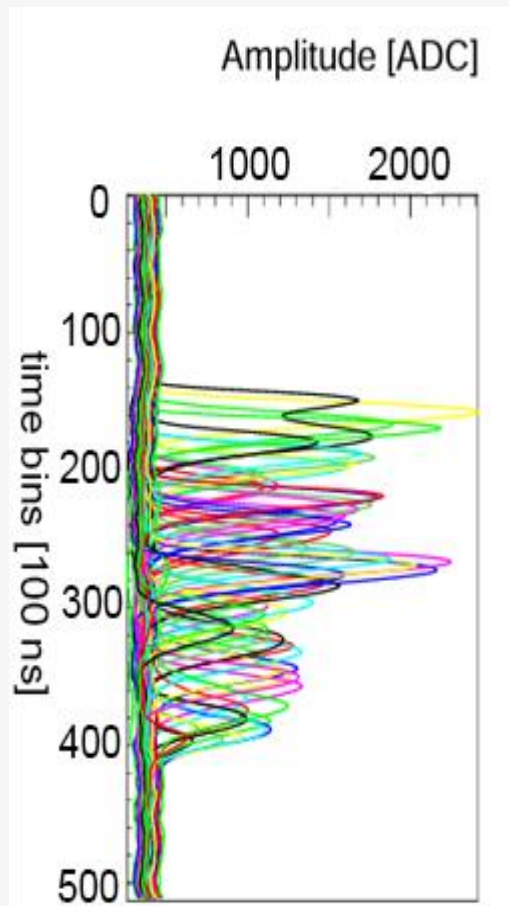


高能 β 径迹和 θ 分布



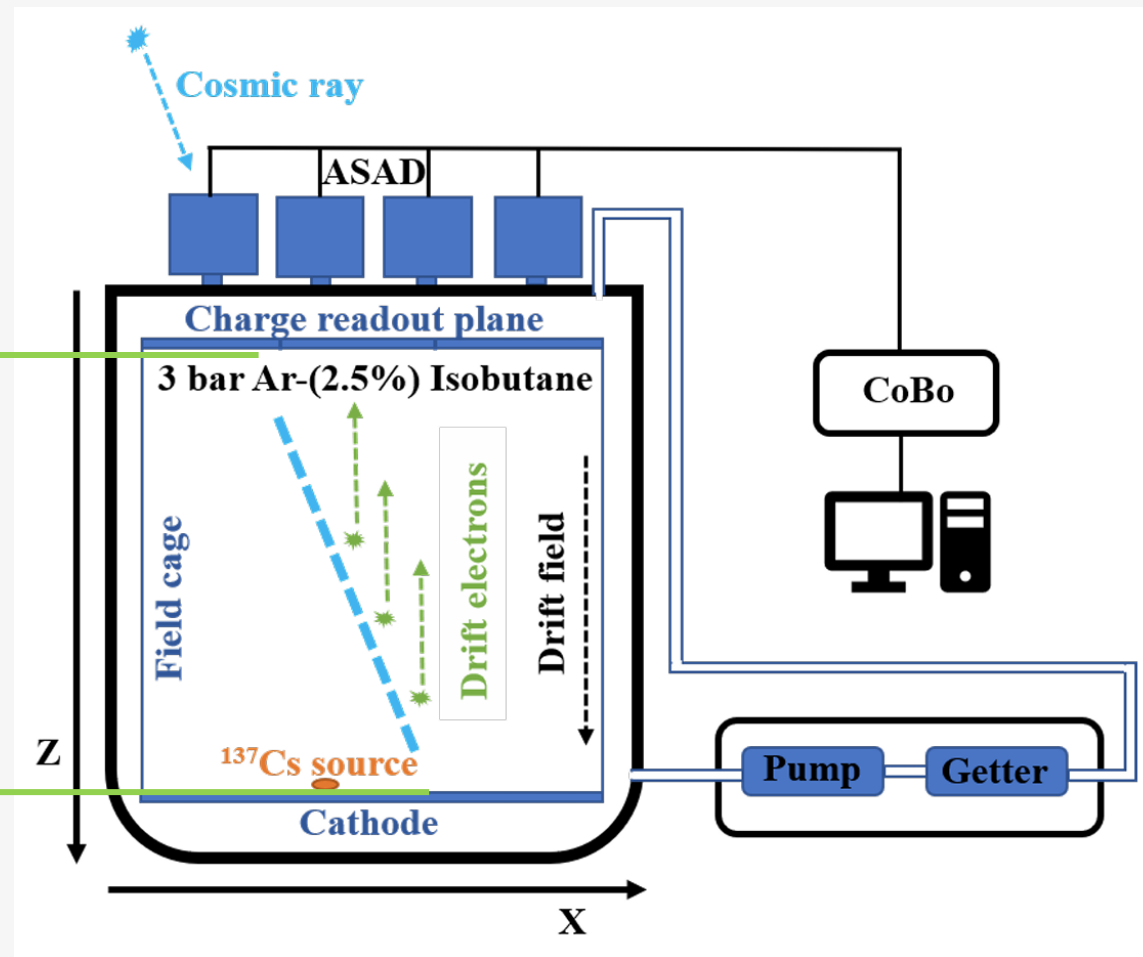
- 触发条数
- 线性度：霍夫变换（在极坐标下计算任意2个hit点直线径迹参数 θ 、 ρ ）

Muon 刻度方法



初始电离

最终电离



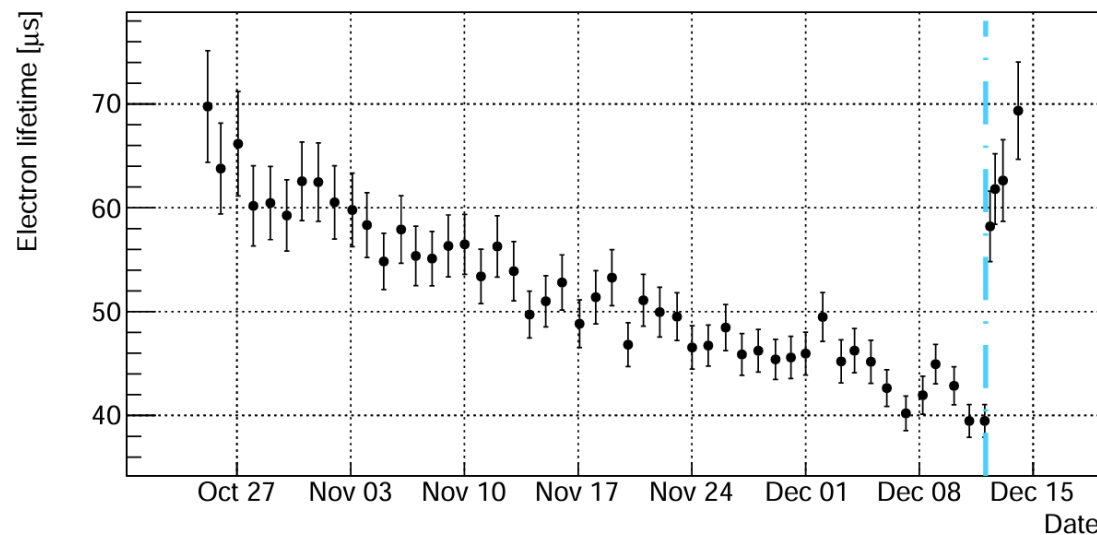
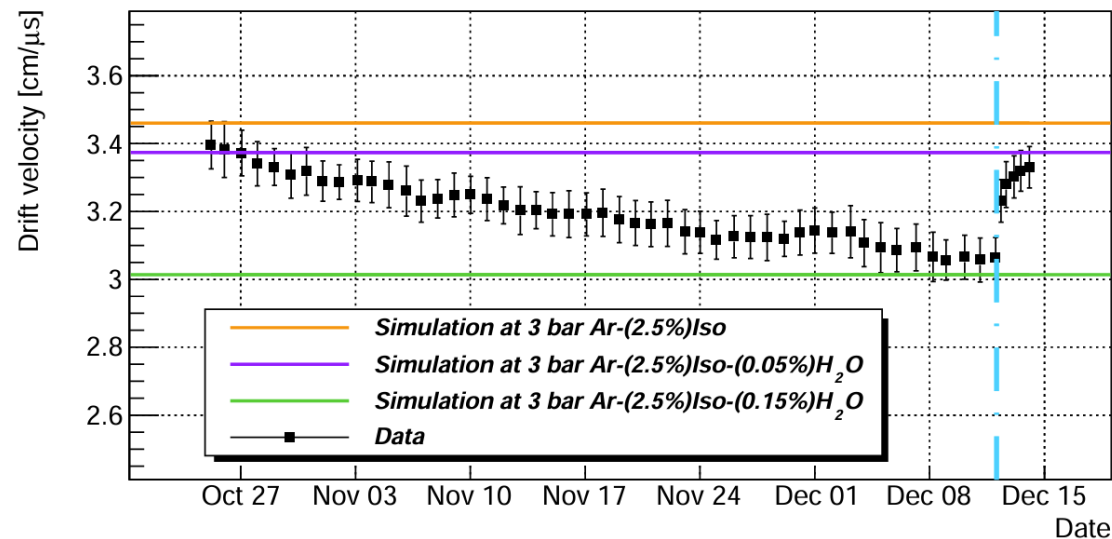
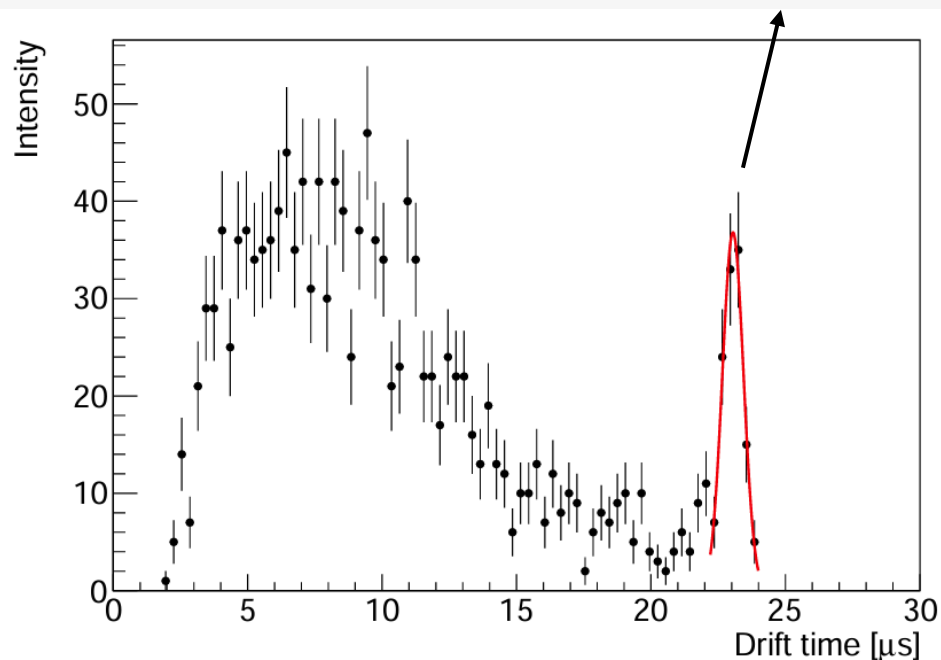
- 放射源：宇宙线 μ 子和 ^{137}Cs
- 采数时间：50天，气体：3 bar Ar-2.5%iso

Muon 漂移速度&电子寿命



- 贯穿 μ 子对应最大漂移时间
- 漂移速度: $3.40 \pm 0.07 \text{ cm}/\mu\text{s} \rightarrow 3.06 \pm 0.06 \text{ cm}/\mu\text{s}$

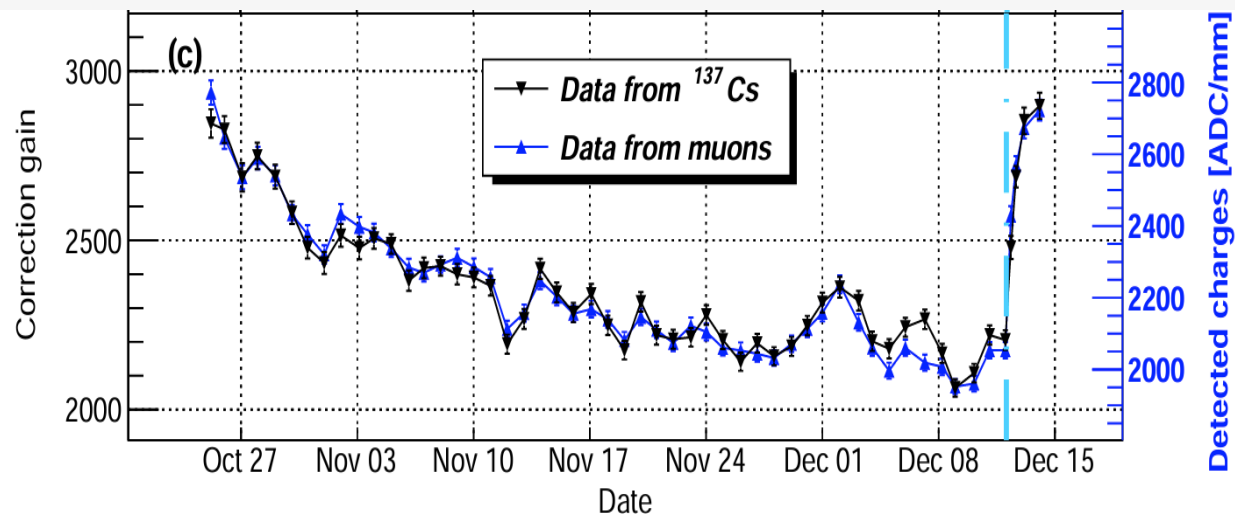
漂移场长度: 78 cm



Muon 增益&电场畸变

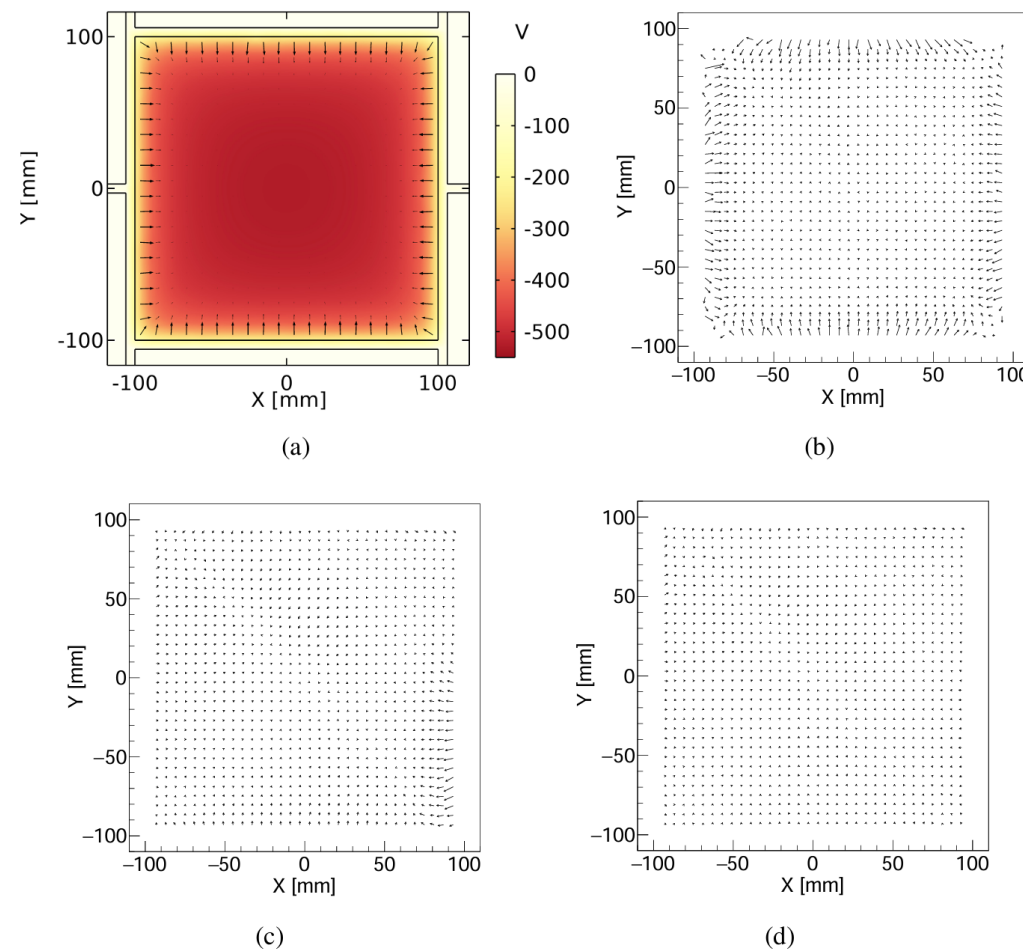


➤ 放射源与muon增益曲线一致

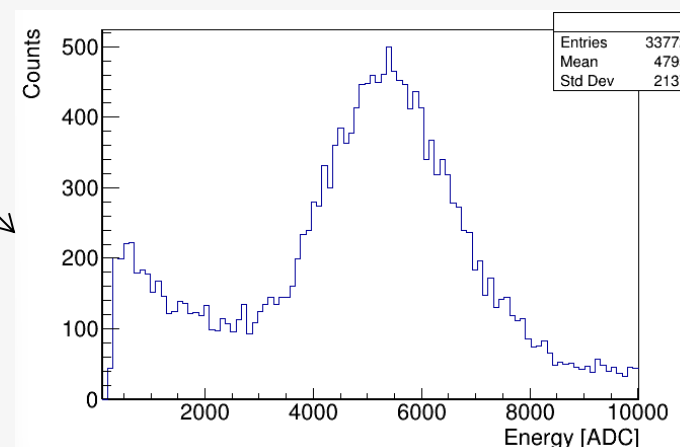
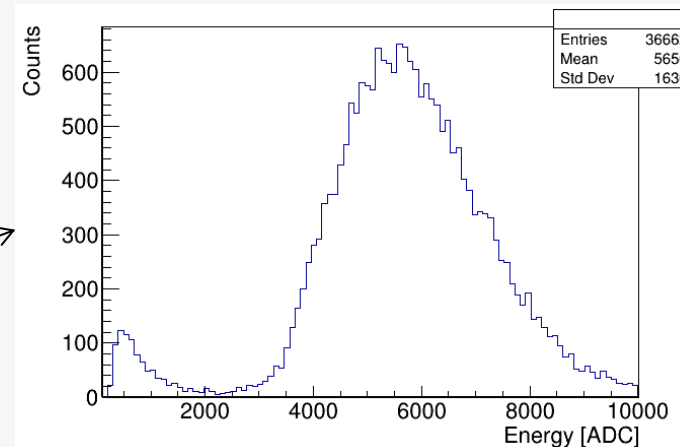
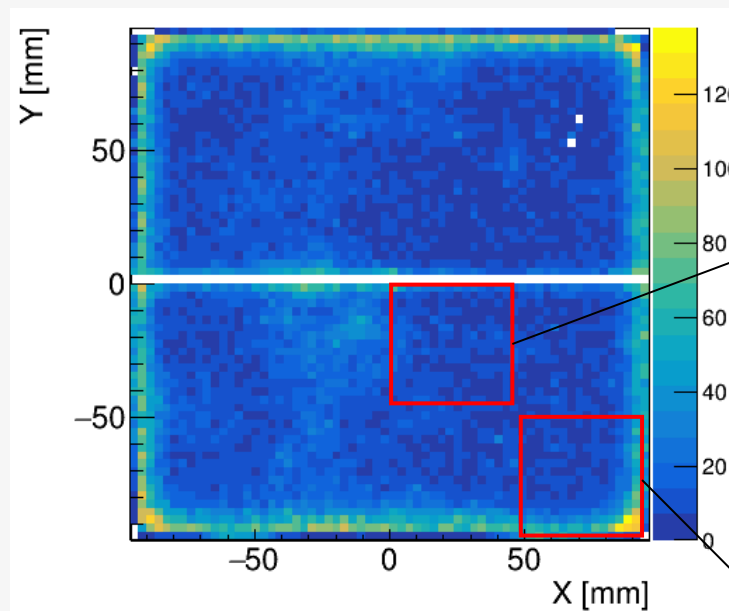


JINST 18 (2023) 07

➤ 通过muon数据刻度边缘电场畸变



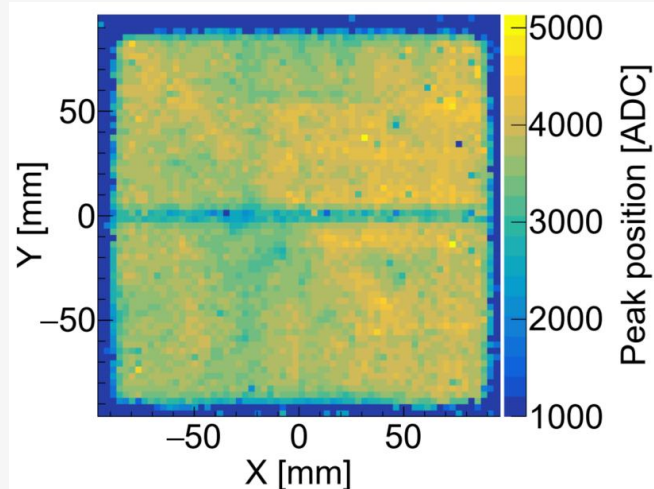
Ar-37 刻度方法



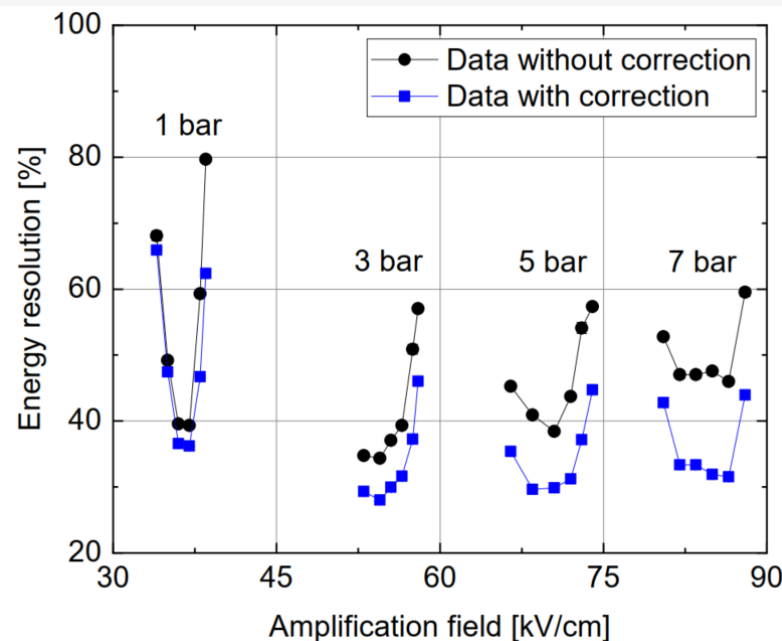
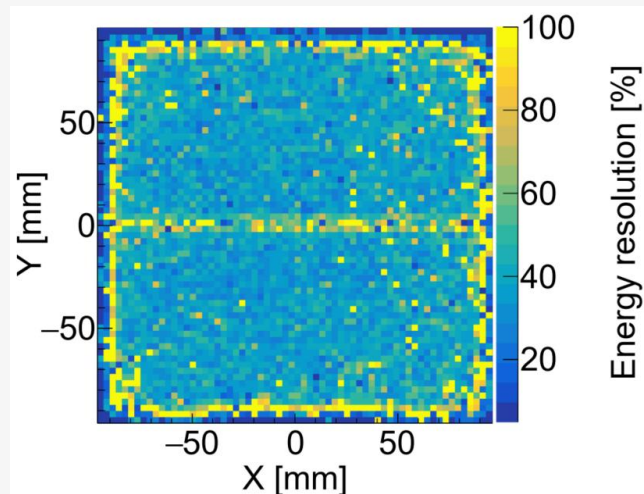
- 探测器本身均匀性存在细微差异
- 边缘效应

- **Ar-37源:**
 - 注入式气体放射源,
 - 2.82keV (K壳层)

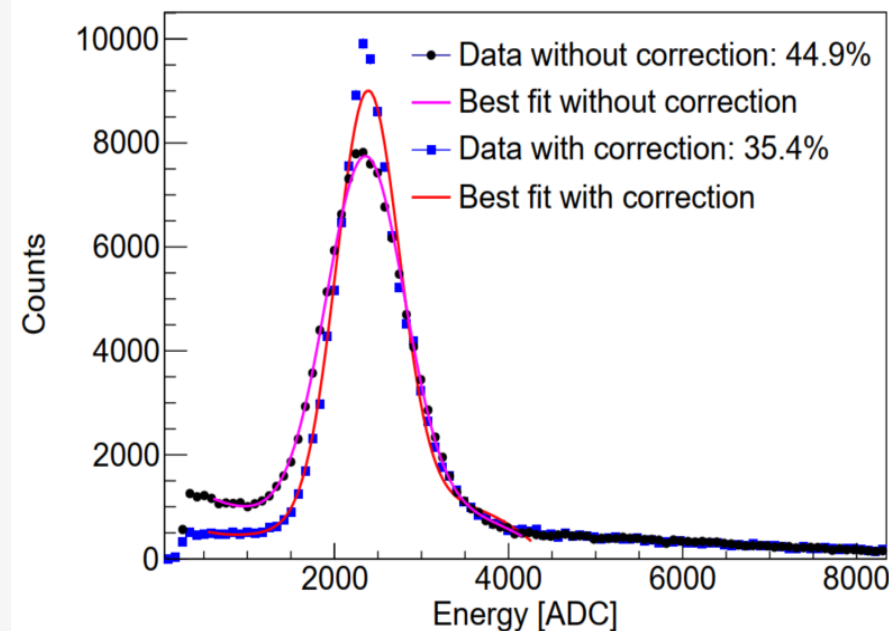
Ar-37 均匀性修正



➤ 读出模块分为64*64个区域



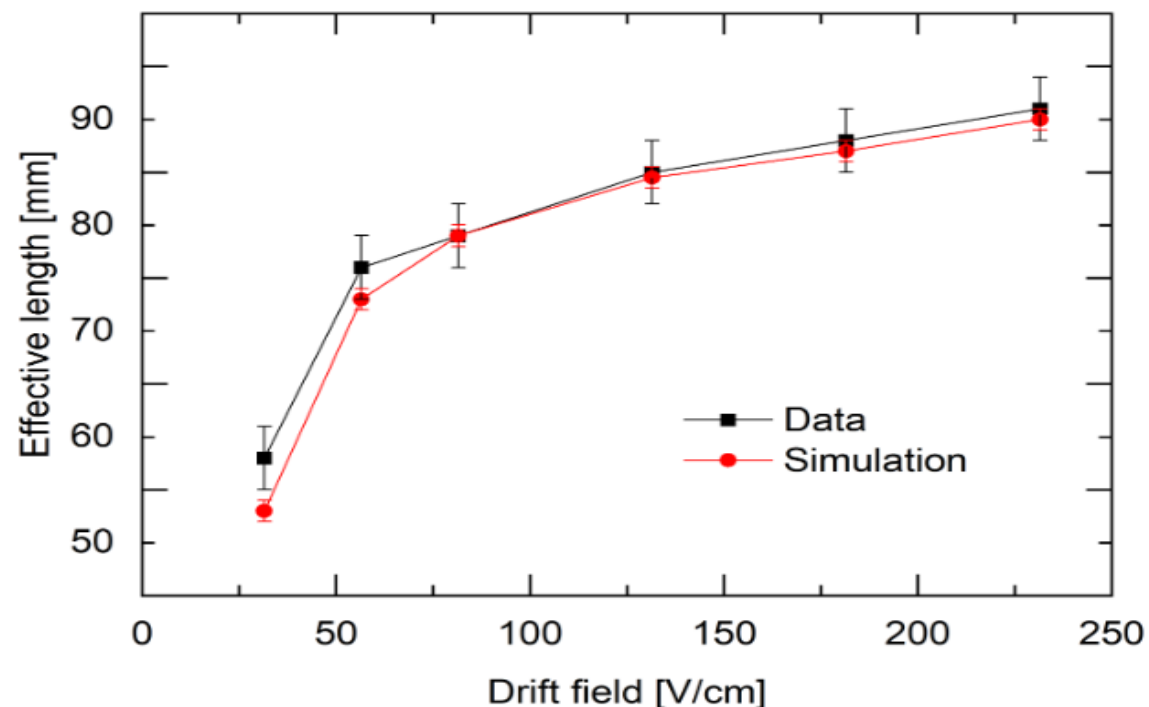
➤ 气压越高，电子团越小，增益map越精确，修正效果更好



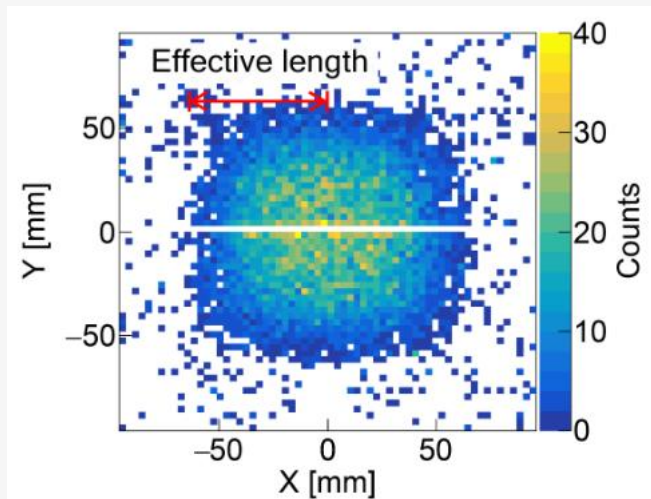
➤ 7bar下，能量分辨率从44.9%优化到35.4%

Ar-37 漂移电场演化

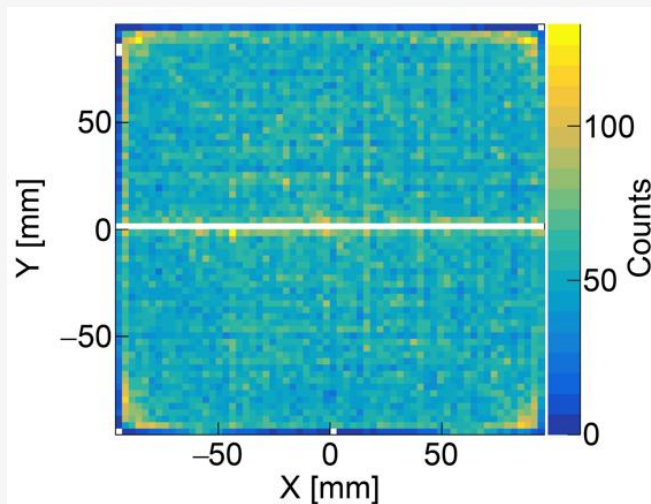
- 有效长度：读出模块有效面积边长的一半
- 漂移场231.5V/cm时有效长度达到最大值，整个读出平面都是有效面积，电场畸变可忽略



漂移场 31.5V/cm



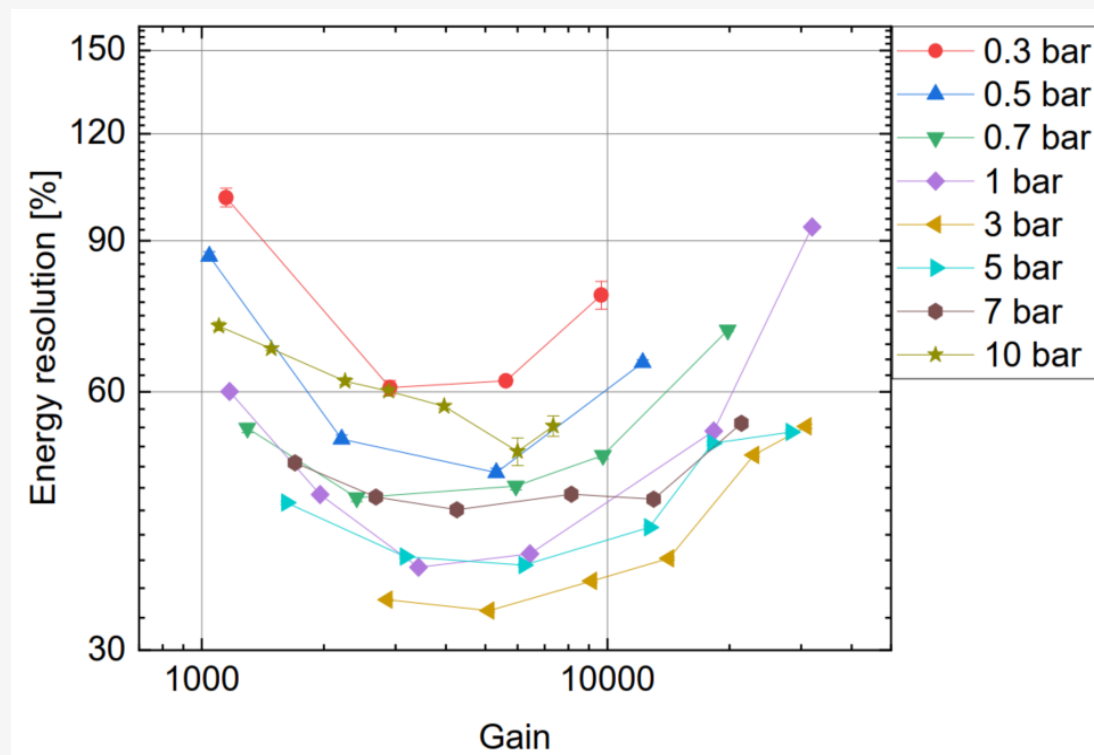
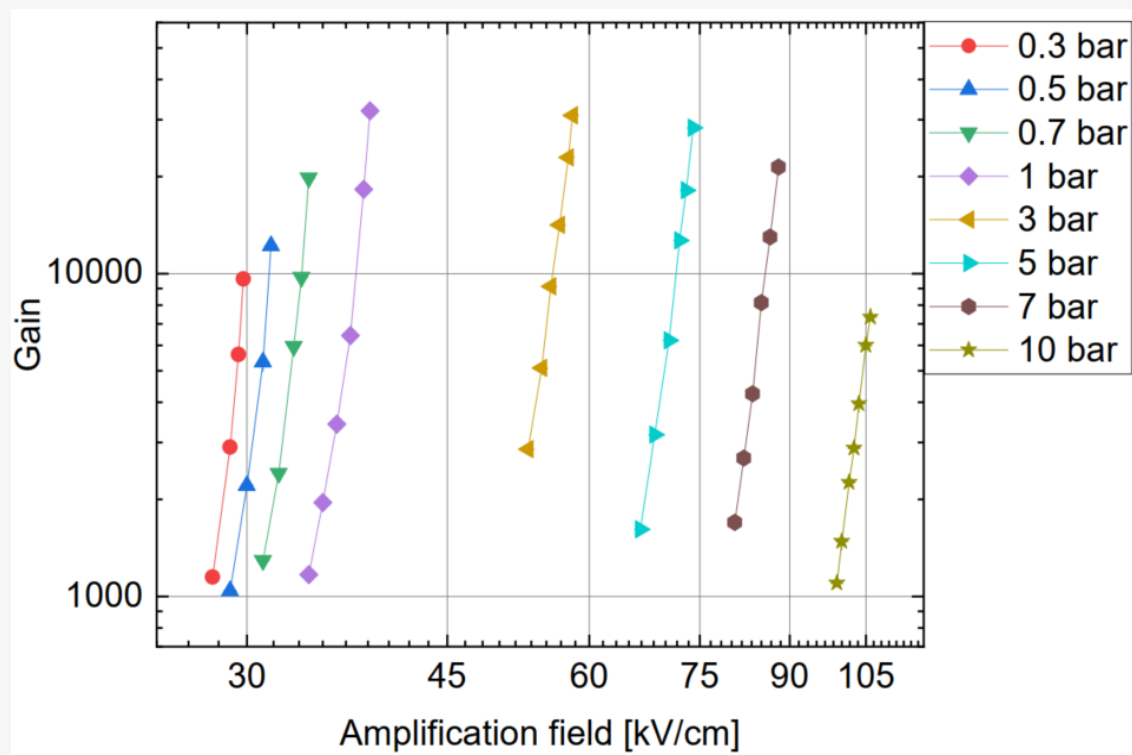
漂移场 231.5V/cm



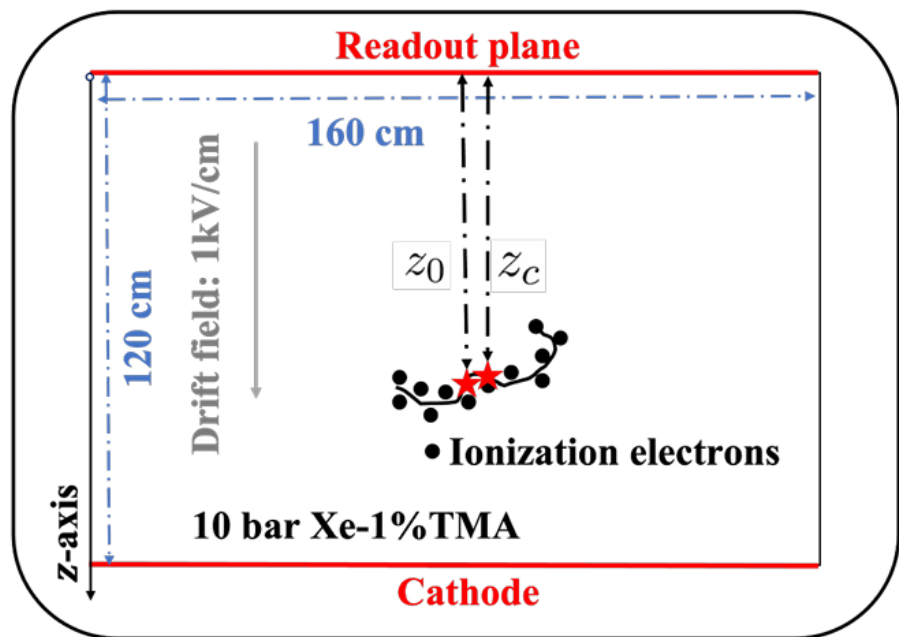


Ar-37 增益、能量分辨率

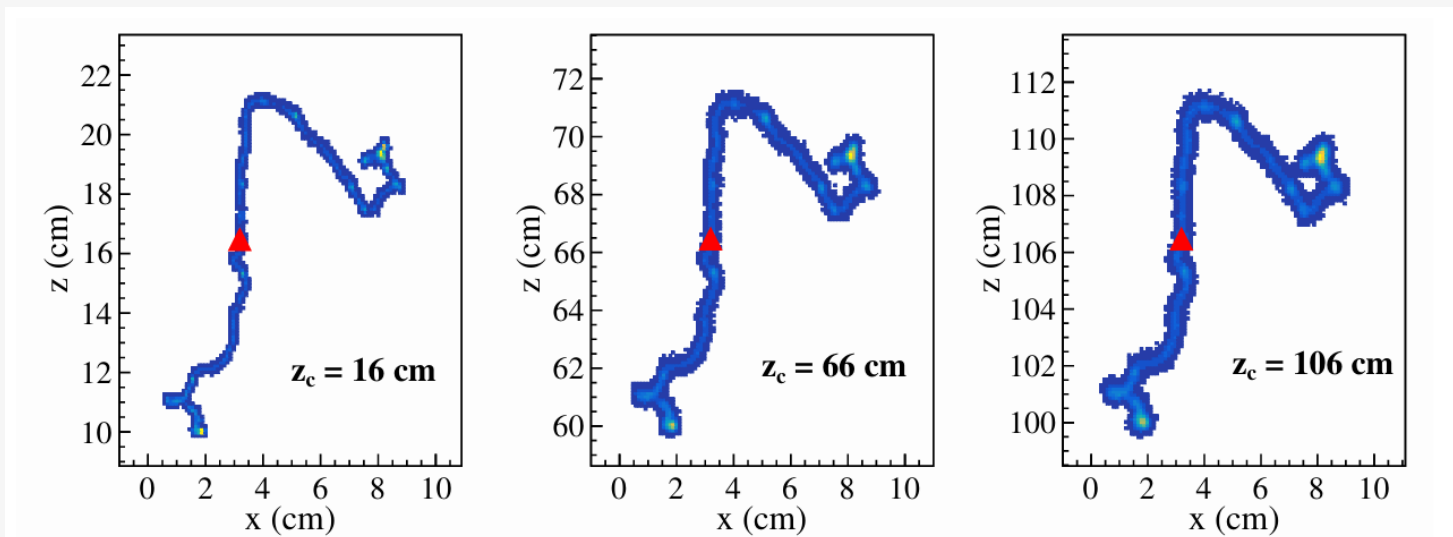
- 在0.3-10bar下，增益最高可达万量级。
- 在3bar下，最佳能量分辨率可达33.4%，对应增益5100



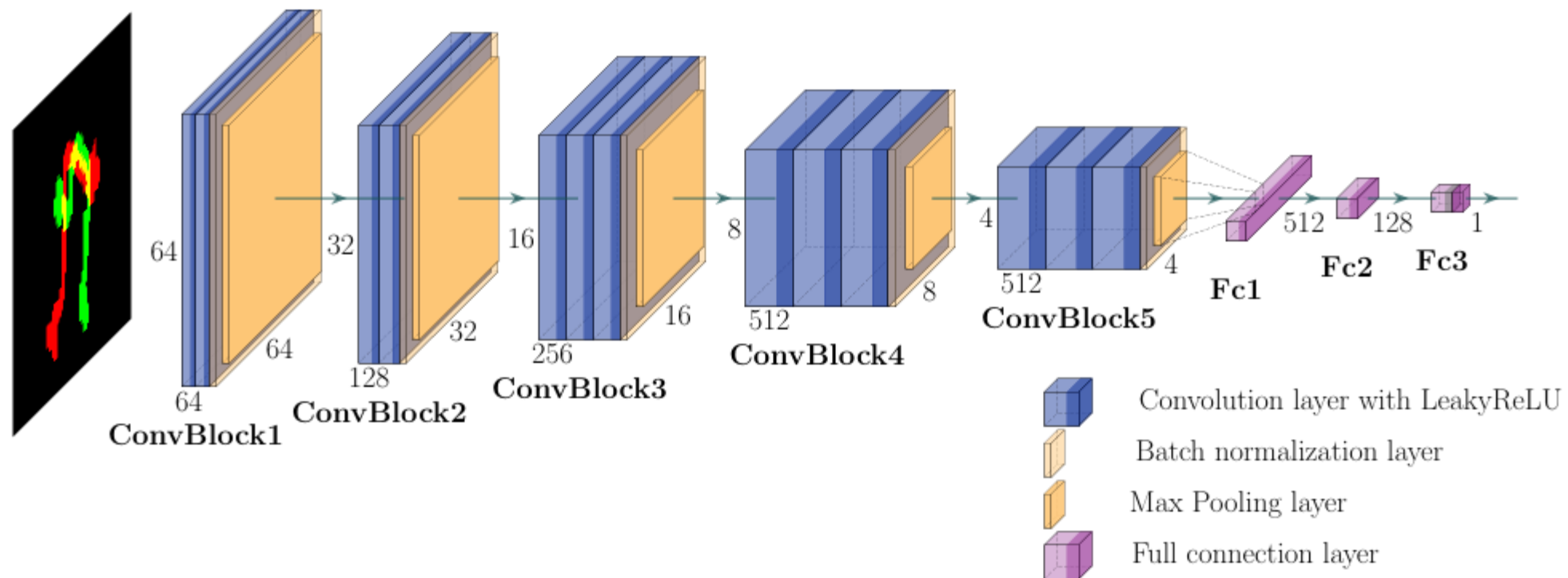
电子寿命刻度



➤ 电子扩散公式: $\sigma_{L,T}^2 = \sigma_{0L,T}^2 + 2 \cdot D_{L,T} \cdot z_0$

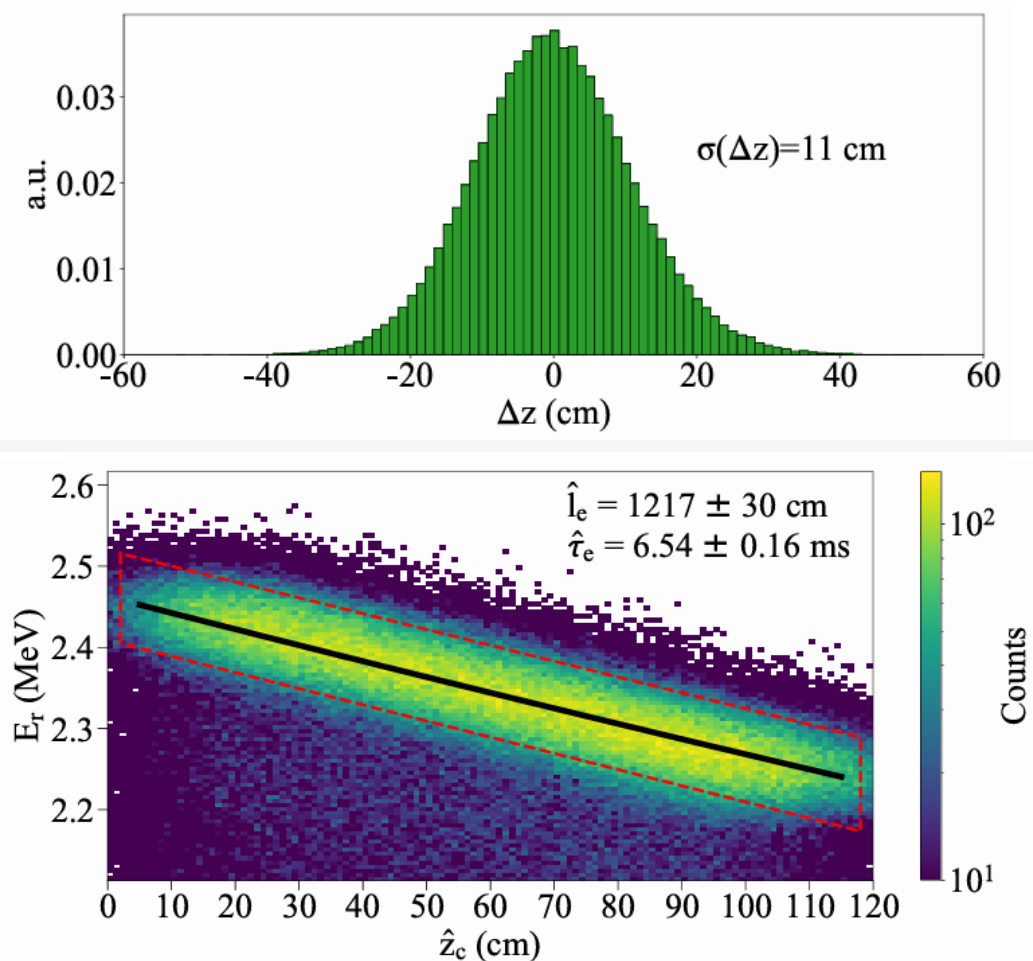


- PandaX-III实验工作物质中的TMA的淬灭效应导致无法形成闪烁光
- 事件发生的初始时间 t_0 缺失, 导致电子寿命缺失
- 读出平面和阴极附近的本底事件无法识别 (氦释气)



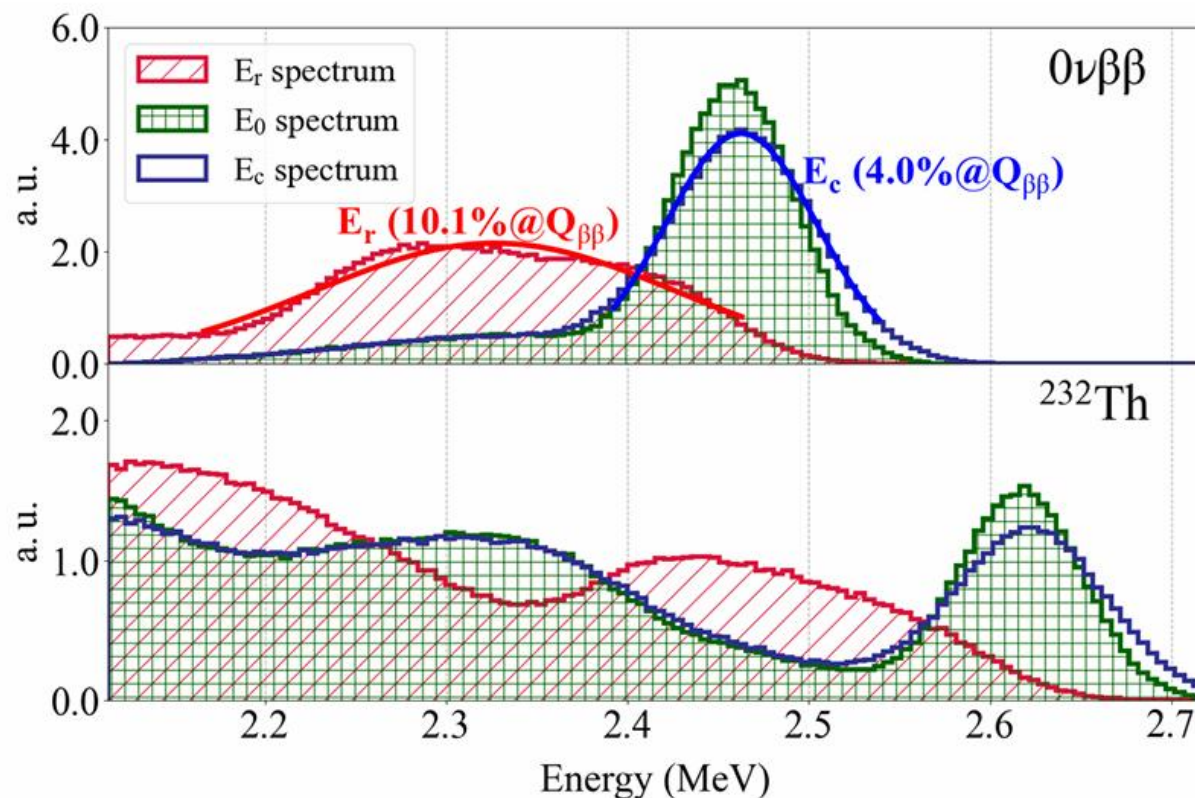
- 输入：64×64像素的RGB图像，xz（红）yz（绿）平面径迹
- 输出：事件的电荷中心 Z_c

模拟数据刻度

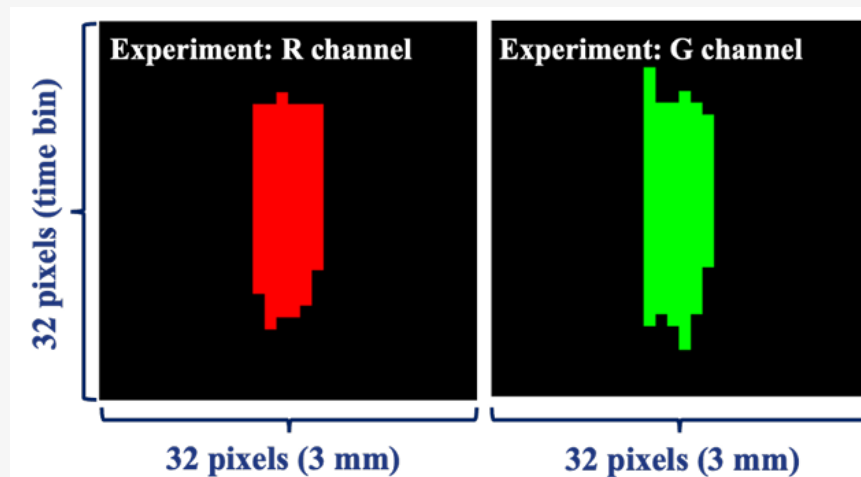
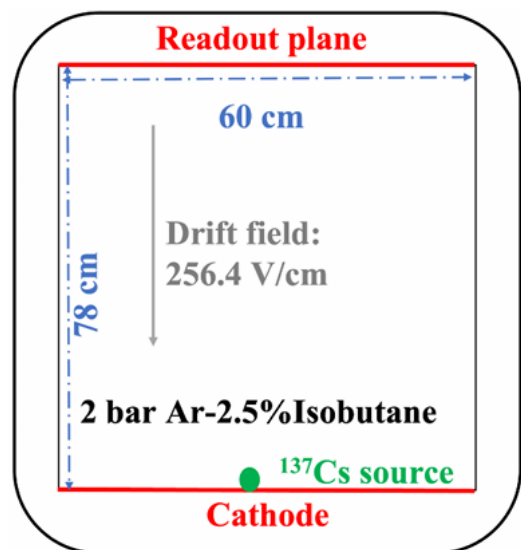


➤ 重建Z误差在10%以内

能量修正公式:
$$E_c = \frac{E_r}{e \frac{-le}{Zc}}$$

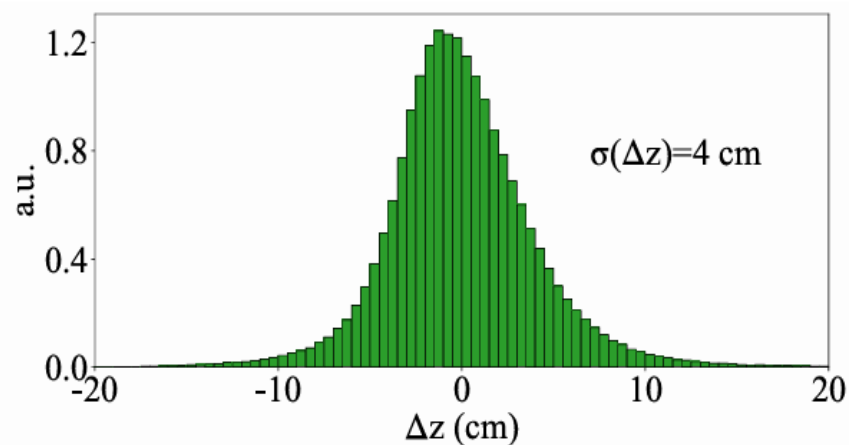


- E_r : 受电子吸附作用的初始能量
- E_c : 通过VGGZ0net修正过的能量
- E_0 : 0吸附能量

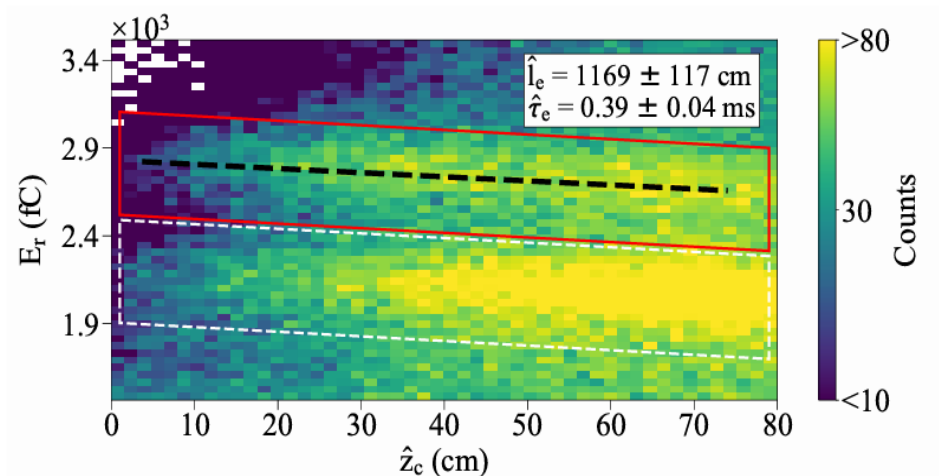


Kr-83m RGB图片

- 放射源Cs-137和Kr-83m
- 重建Z误差在5%左右



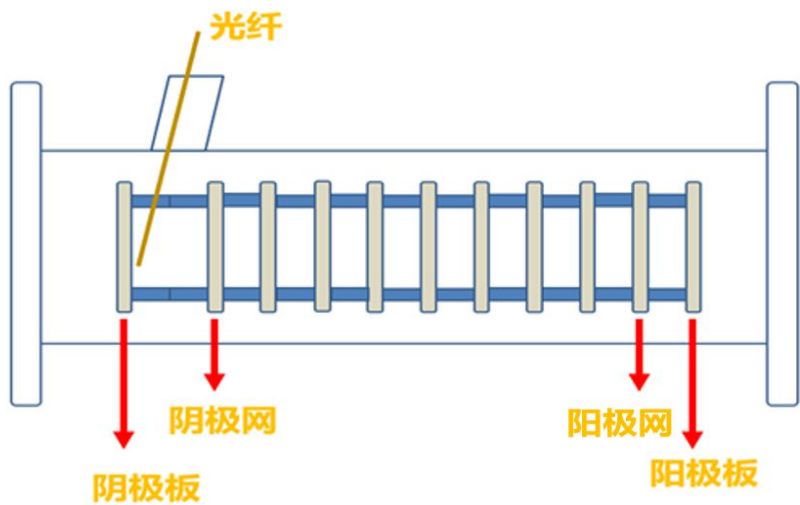
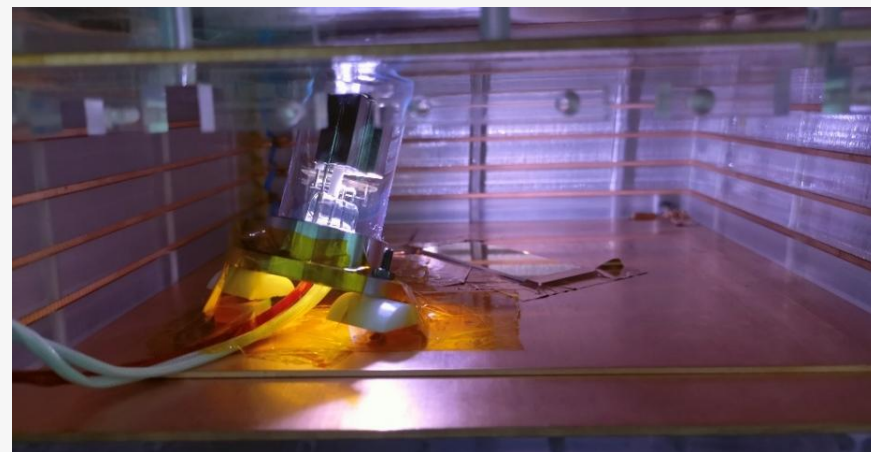
VGGZ0net 预测的性能



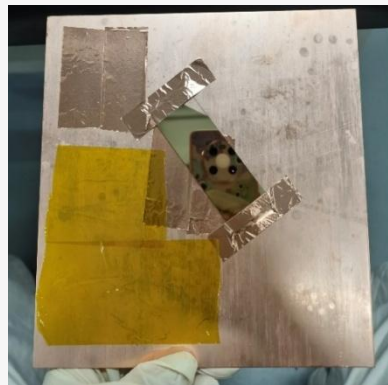
光阴极刻度方法

电子寿命 T_0 计算公式:

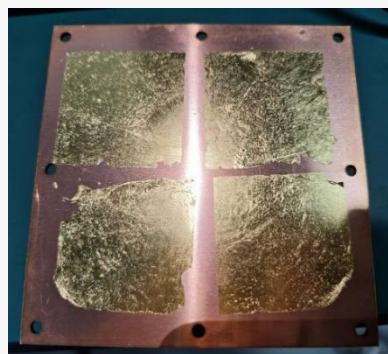
$$E = E_0 * e^{\frac{T_{drift}}{T_0}}$$



光阴极刻度方法探测器示意图

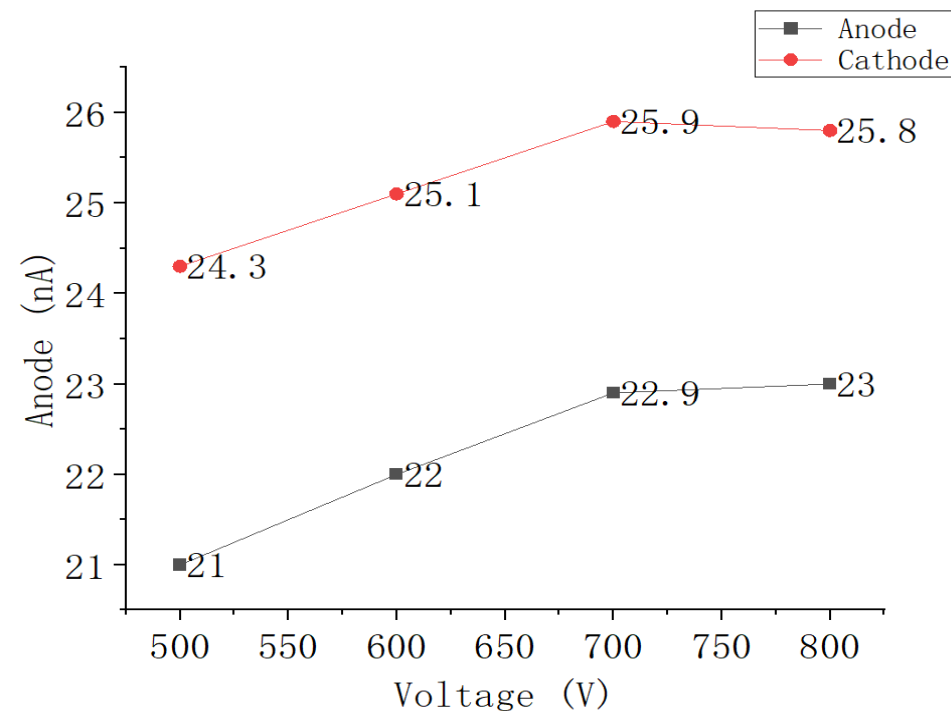


镀金



金箔

- 深紫光照射光阴极发生光电效应，产生光电子
- 阴阳极板处分别读出电信号



电子寿命: $31.25 \pm 3.16 \text{ cm}$

- 从气体探测器的位置和能量分辨率出发，利用不同粒子的径迹对探测器的增益均匀性、电场畸变和电子寿命进行刻度。
- 利用神经网络实现电子寿命的刻度，以及能量分辨率的修正，并在模拟和实验数据中分别得到验证。
- 设计了光阴极系统用于对电子寿命的刻度。

THANK YOU !