

266nm 紫外光在气体探测器中的实验研究

祁辉荣*

王海云, 原之洋, 刘凌, 蔡一鸣, 吴冶, 章红宇, 张建, 欧阳群, 陈元柏, 李玉兰, 邓智, 宫辉, 黄宇雁, 赵馨远, 刘伟, 张余炼

*中国科学院高能所物理研究所

中国科学技术大学, 合肥, 4月23日, 2019

主要内容

- 主要物理需求
- 实验研究进展
- 小结

一点没有结论的澄清

TPC作为径迹探测器的**优势**:

- ❑ 低物质量
- ❑ 高位置分辨率: $100\mu\text{m}@sigma$
- ❑ 高磁场下运行: 3 Tesla
- ❑ 粒子鉴别能力 dE/dx : $<4\% @ 5\text{GeV}/e$
- ❑ 模块化读出

TPC存在的**物理与技术问题**:

- ❑ 面向Z物理目标高计数率时, 存在的连续正离子反馈问题, 无法采用门控的方式, 无法清除正离子
- ❑ 包括本底时的性能模拟及优化设计
- ❑ 有效的连续正离子抑制能力的模块
- ❑ 模块的低打火率的稳定运行
- ❑ 有效的径迹判选及在线标定方法, 与类似问题下的ALICE TPC比较, 采用激光标定的方案可行性及实现方法
- ❑ 稳定的机械结构实现, 保证稳定的漂移电场, 应力改变的影响监测
- ❑ 百万通道读出, 需要低功耗的读出电子学系统 ($<5\text{mW}/\text{通道}$), 及两相 CO_2 的冷却方法

TPC能不能用?

能用, 但有适用条件

TPC需要研究什么?

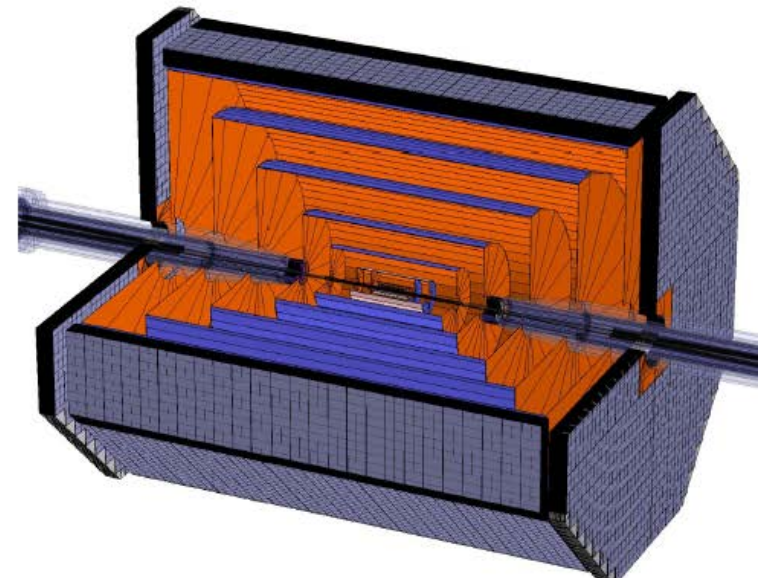
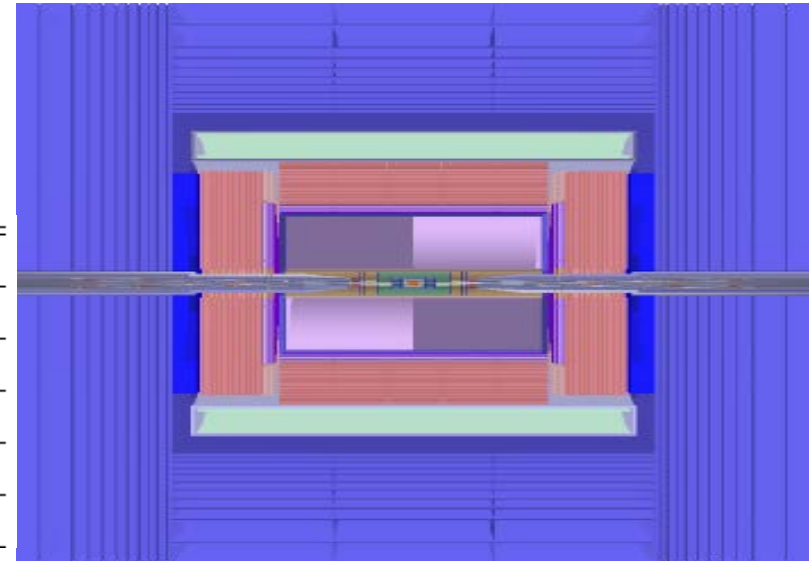
正离子与径迹

三种探测器选型(CEPC CDR)

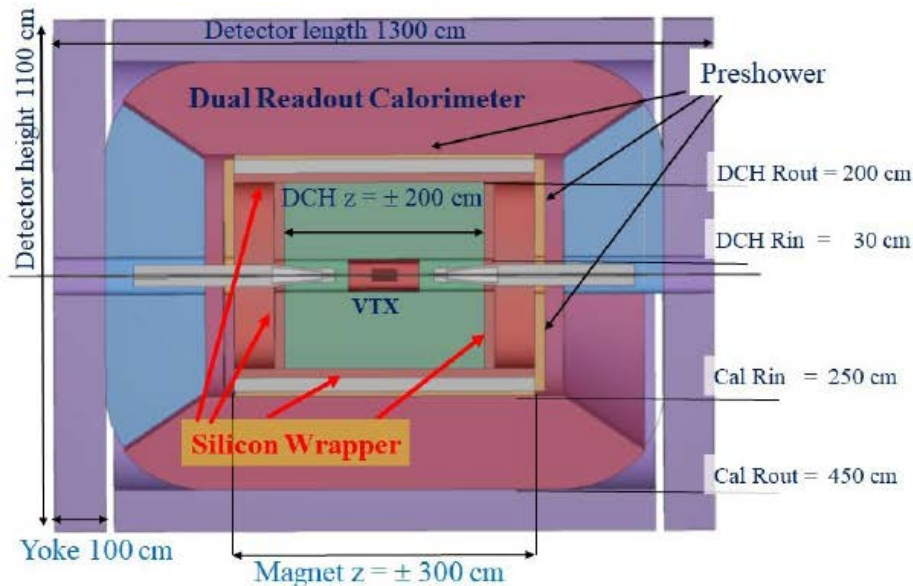
ArXiv:1811.10545

- 粒子流探测: VTX+TPC+ECAL+HCAL
- 全硅像素探测器: SID
- 漂移室/双端量能探测: Silicon+Drift chamber (DCH)+DCAL

Operation mode	$\sqrt{s}$ (GeV)	L per IP ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
H	240	3
Z	91.2	32 (*)
$W+W^-$	158-172	10



	Higgs	W	Z (3T)	Z (2T)
Number of IPs			2	
Beam energy (GeV)	120	80	45.5	
Circumference (km)			100	
Synchrotron radiation loss/turn (GeV)	1.73	0.34	0.036	
Crossing angle at IP (mrad)			16.5×2	



- 为什么要开展紫外光与微结构气体探测器的实验研究？

产生大量正离子及径迹的方法(间接法+直接法)

55Fe放射源

- 为点放射源，在MESH上各点强度不均匀，并且会在某点强度很高，容易打火。

X光机

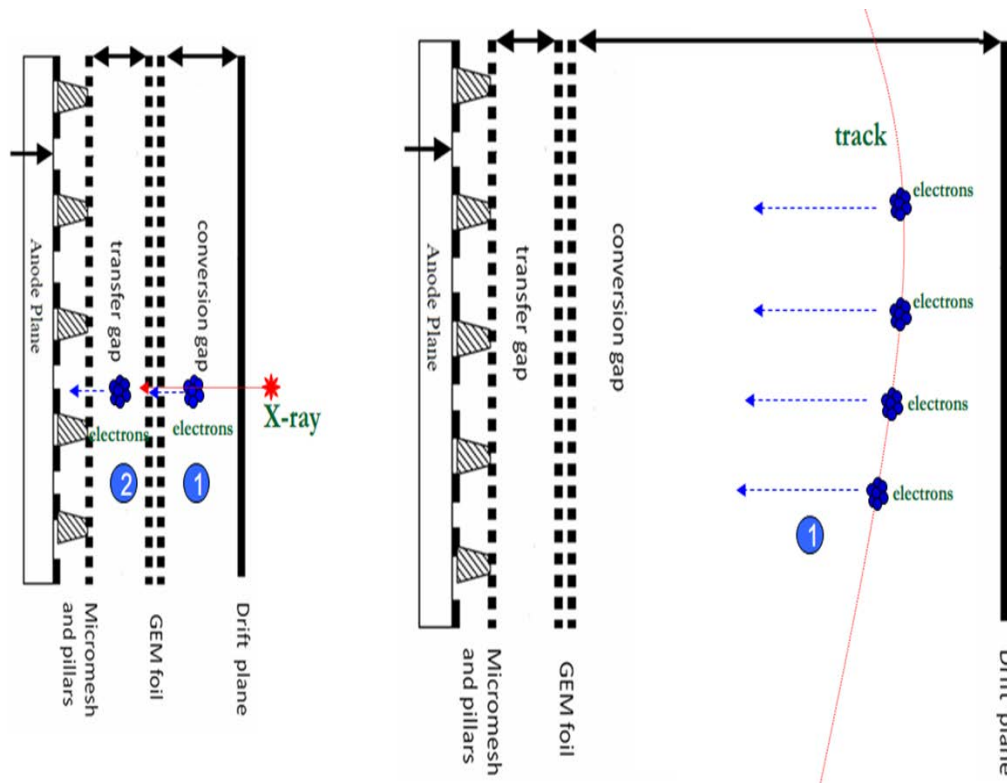
- 为一个连续谱上叠加全能峰，能量不单一，与工作气体发生作用

同步辐射

- 能取出单一能量的射线，但容易在某点强度很高

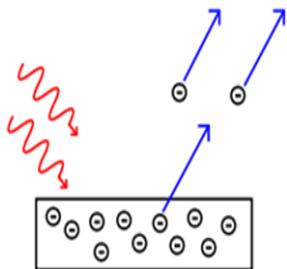
266nm 紫外光/激光

- 与金属板发生光电效应，产生的光电子在MESH上倍增出更多的正离子
- 可稳定重复的可控径迹



■ 266nm 紫外光-光电效应

光电效应原理及UV汞灯的选择



光电效应（Photoelectric Effect）是指光束照射物体时会使其发射出电子的物理效应。

光电效应示意图

功函数（又称功函、逸出功，英语：Work function）是指要使一粒电子立即从固体表面中逸出，所必须提供的最小能量

Work function of elements (eV)

Ag 4.26 – 4.74	Al 4.06 – 4.26 305.4-291.0nm
Au 5.10 – 5.47 243.1-226.7nm	B ~4.45
Be 4.98	Bi 4.31
Ca 2.87	Cd 4.08
Co 5	Cr 4.5
Cu 4.53 – 5.10 273.7-243.1nm	Eu 2.5
Ga 4.32	Gd 2.90

金属逸出功列表

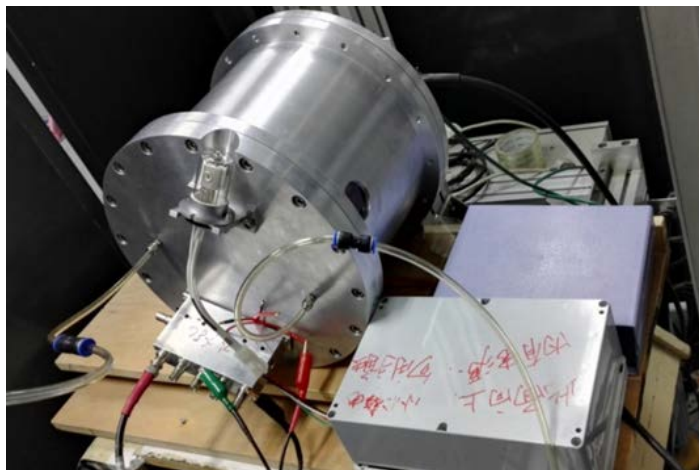


汞灯

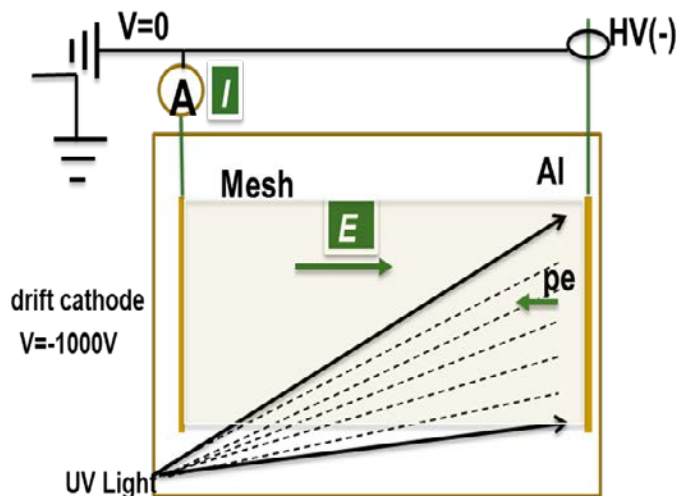
- 汞灯 X2D2
 - 波长: 160nm~400nm
- 石英玻璃
 - 99% light trans.@266nm

UV氙灯测试研究

- 漂移长度: 200mm
- 读出面积: 200mm × 200mm

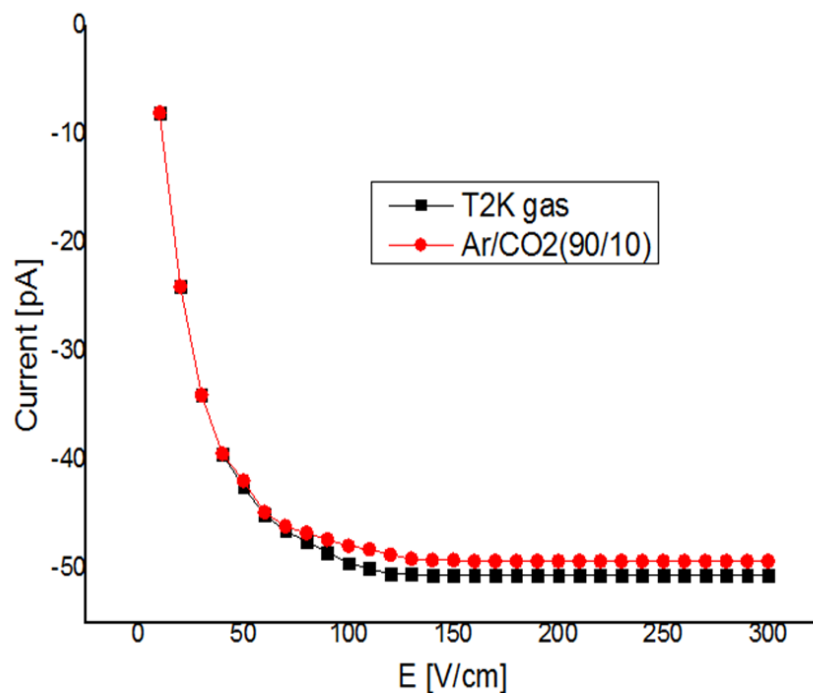


实验装置图



原理图

- 工作气体:
 - T2K气体: 92%Ar+5%CF₄+3%iC₄H₁₀
 - P10工作气体: 90%Ar+10%CO₂
- 测量MESH上光电流大小
 - 电压达到某一值时, 大部分光电子都被MESH收集, 光电流达到最大值
 - 最大值: 约31000 electrons/s.mm²



MESH收集光电流随电压变化关系

■ 266nm 紫外光-双光子电离

主要物理需求-激光的参量

- 目标实现位置精度100μm的校正，要求的激光径迹的高精指向稳定性

- 激光波长：266nm (~4.68eV)

- 电离机制：双光子电离（微束）

- 作用机制：光电效应（扩束）

- 能量密度：~10 μJ/mm²

- 电离能力：~10MIP

- 脉冲宽度：<5ns

- rφ分辨

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N_{eff}} \left(\sigma_0^2 + (C_D^2) z \right)}$$

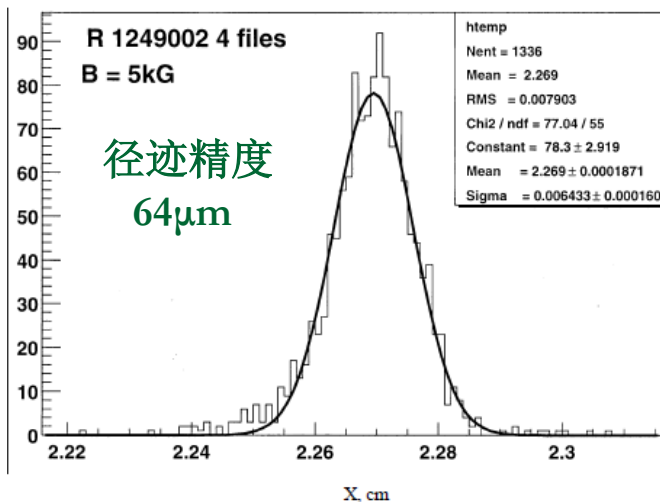
- Z方向扩散

$$\sigma_z = v_d \times \frac{5}{\sqrt{12}}$$

- 激光分散度：0.28mrad (TPC直径~380mm)

- 光路指向精度：<20μm

- 分束激光面积：~0.7mm²



STAR TPC激光系统(~10MIP)

- 满足需求的激光器

- 钕晶石激光器 Nd-YAG

- 波长：266nm

- 功率：~15mJ/pulse

- 脉冲宽度：5ns

- 出束频率：10Hz

- 出射激光直径：~5mm

- 公司：Litron Lasers

- 型号：NanoSG

266nm紫外光标定内容

- 主要校正测量内容
 - 漂移速度（与气压、空间电荷、温度关系）
 - GEM增益变化
 - 探测器与电子学的一致性
 - 机械结构（对准与形变）
 - 电/磁场均匀性
 - $E \times B$ 效应
 - 空间电荷效应
- 校正方法的实现
 - 三维激光修正Map的建立
 - Z向布局光路设计：测量漂移速度
 - $r\phi$ 平面布局：测量分布不一致性

需要回答：

激光信号能不能测量？

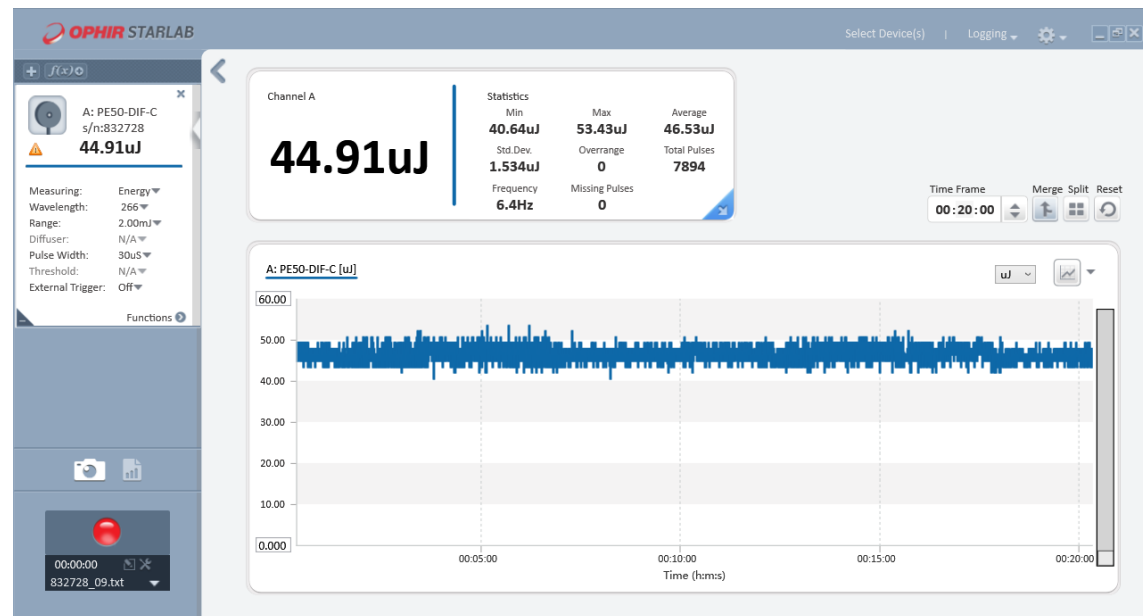
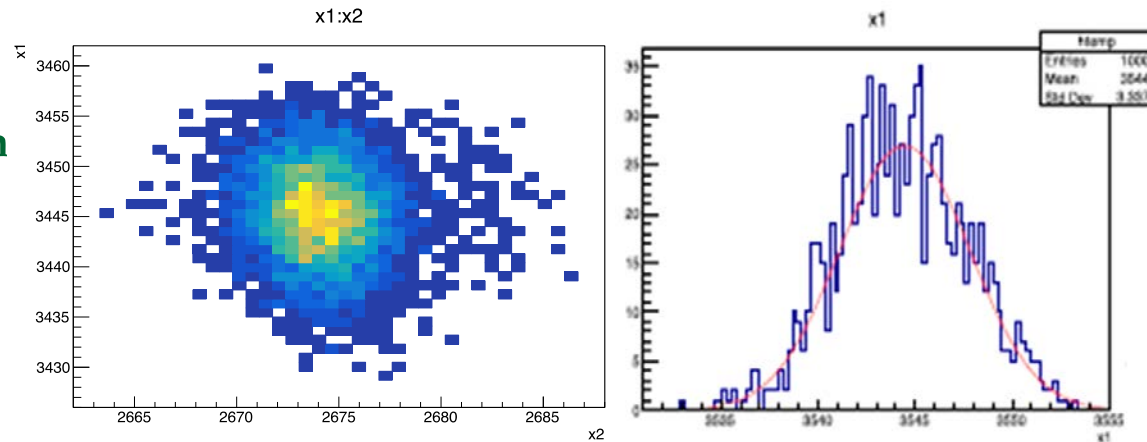
激光位置能否满足？

激光能量能否满足？

不同作用机制测量？

激光自身位置与能量稳定性

- Size: $\sim 0.85\text{mm} \times 0.85\text{mm}$
- Transmission and reflection mirrors
- Duration of measurement time: **20mins**
- X direction of the beam's center of gravity: **$< 3.2 \mu\text{m}$**
- Y of the beam's center of gravity: **$< 2.8 \mu\text{m}$**
- Average of the energy: **$46.53 \mu\text{J} / \Phi 5\text{mm}$**
- Stability of the laser beam energy: **3.3%**

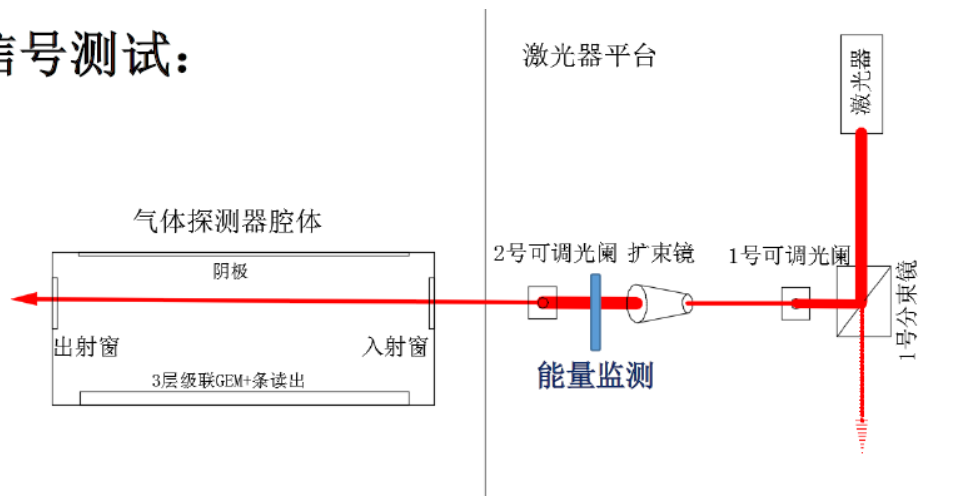


Stability of the laser beam energy @ μJ

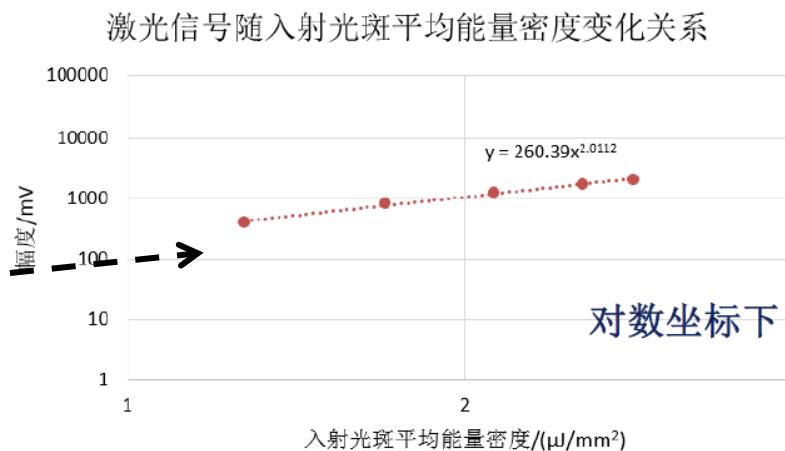
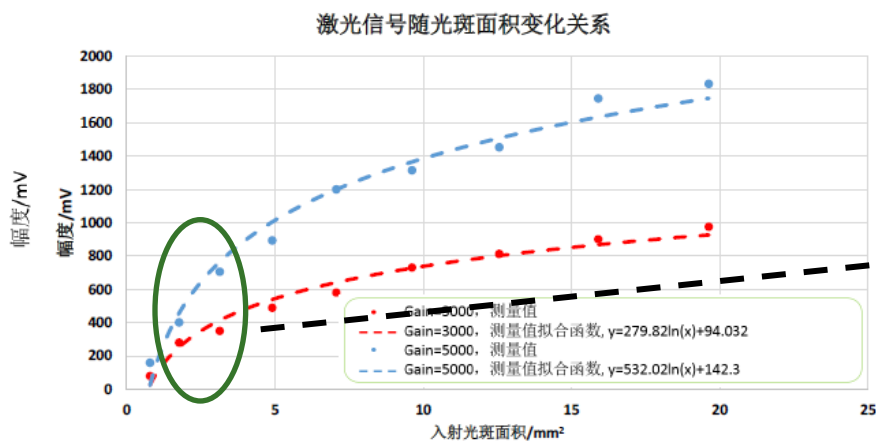
266nm激光信号测量

laser-266nm激光能量与信号测试:

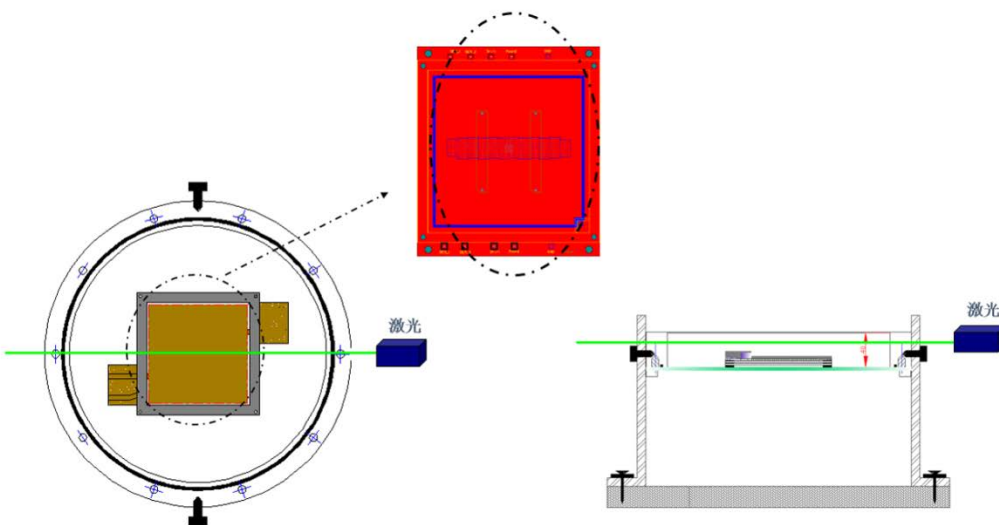
改进后测试原理图:



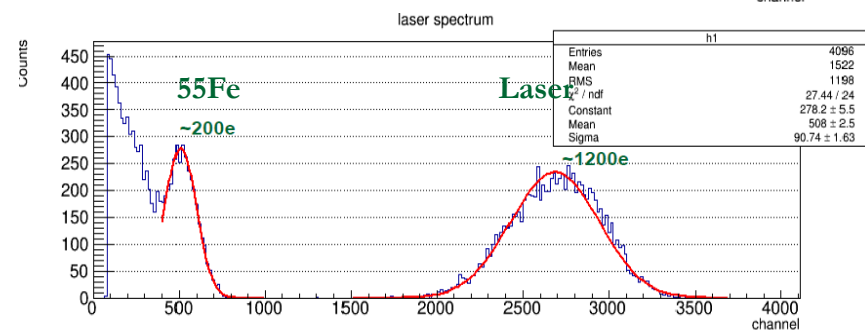
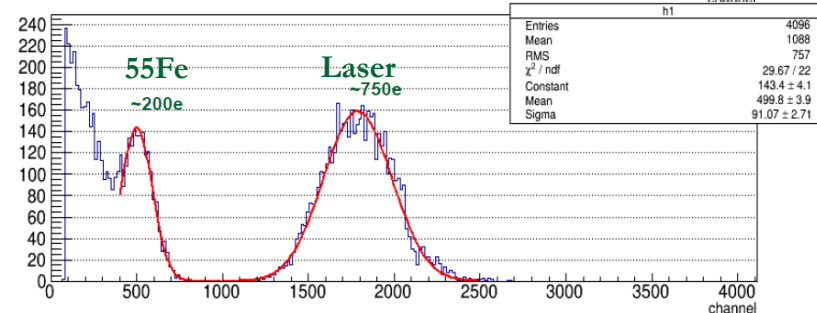
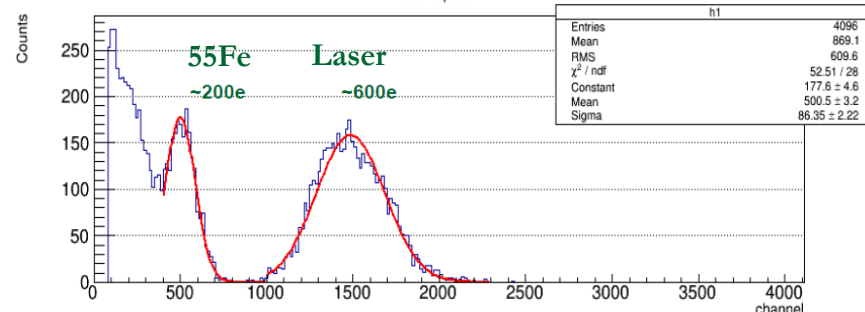
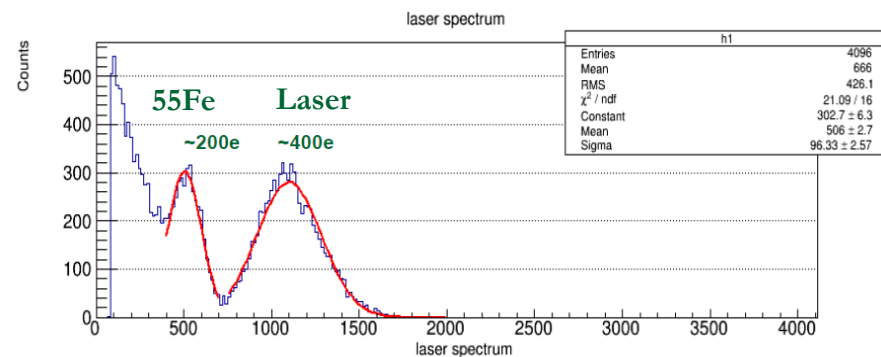
为尽可能减小光斑分布差异性引入的误差，在光路上使用2个可调光阑，确保入射激光束能量密度估算更为精确。



激光与 ^{55}Fe 信号比较测量



- Readout board, 128 Channels electronics, DAQ and laser mirror and PCB board have been done and assembled
- TPC barrel mount and re-mount with the Auxiliary brackets
- TPC preliminarily tested with ^{55}Fe and the different power laser beam
- Optimization of the laser studied



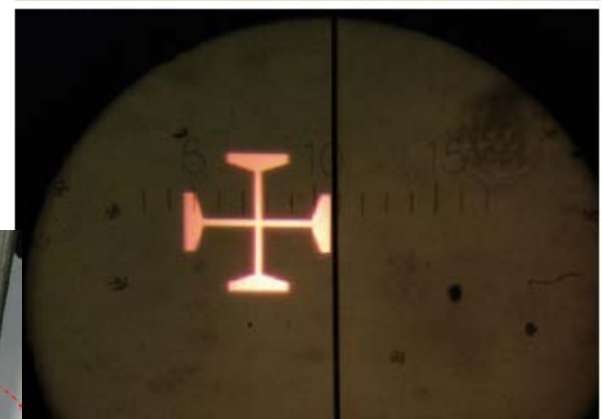
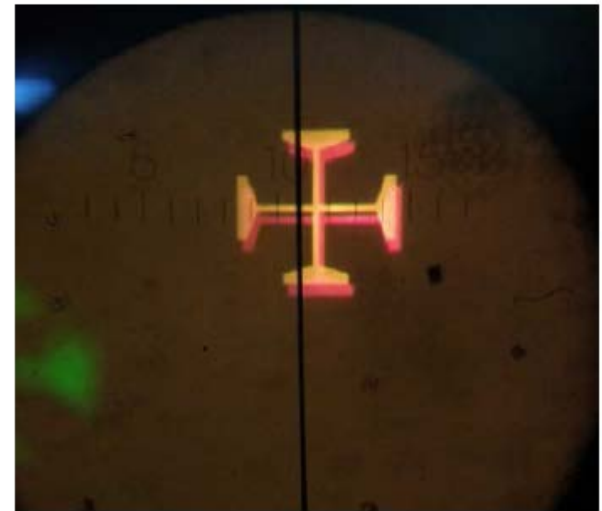
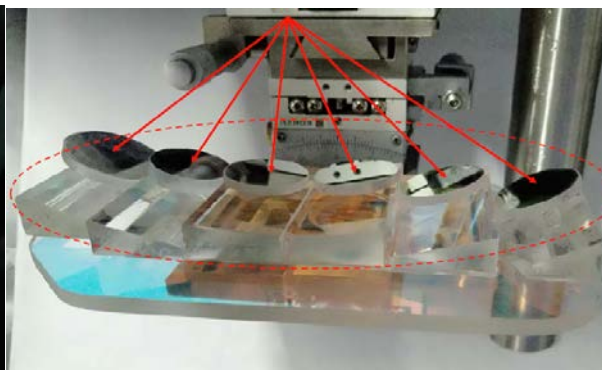
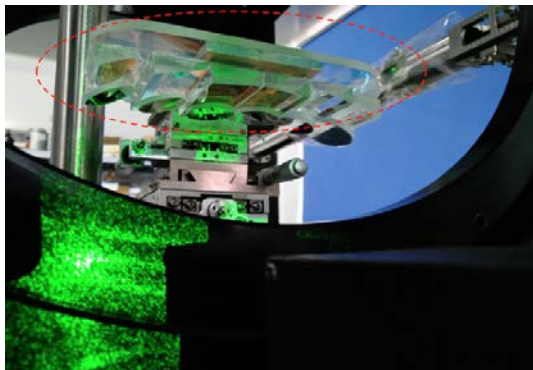
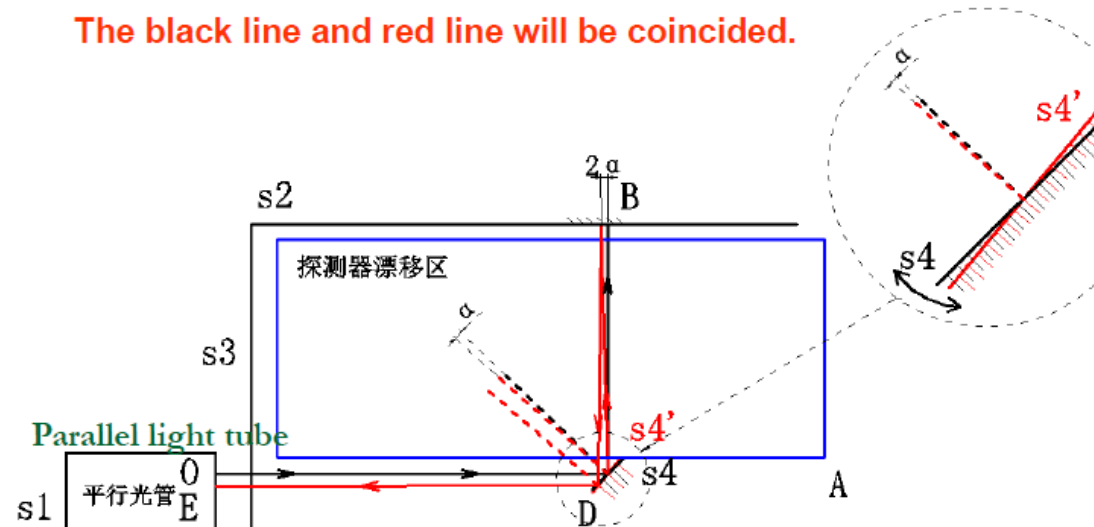
激光位置的实现-调光

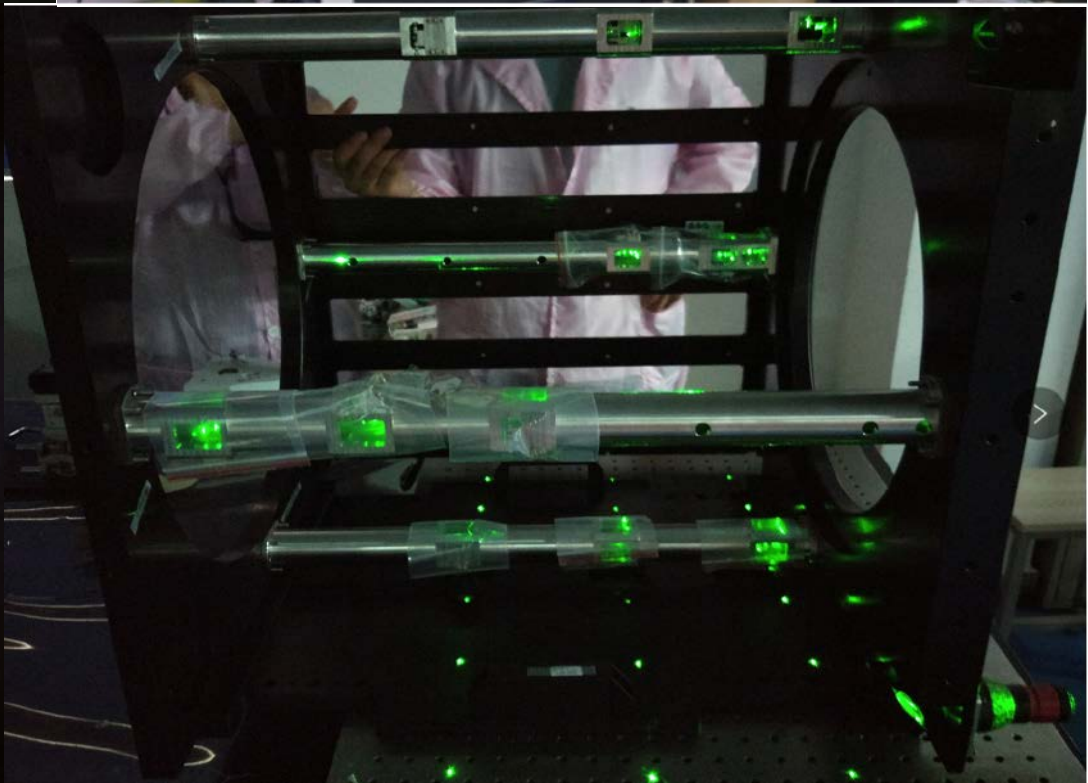
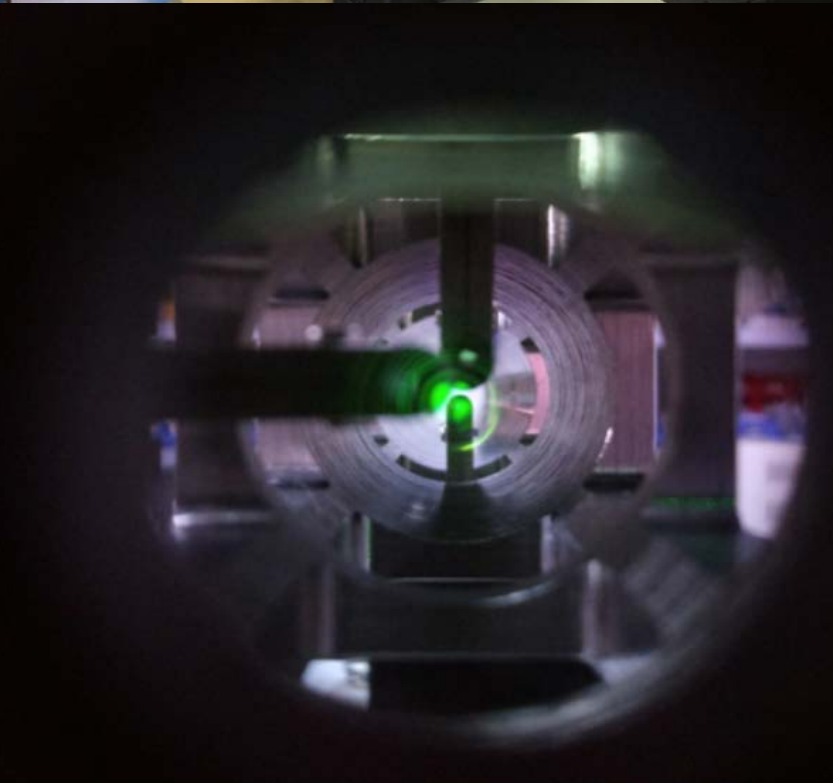
Parameters:

Reflection mirrors for UV light (0 degree and 45 degrees)

Parallel light tube: <5 seconds (1 seconds = 1/360 degree)

The black line and red line will be coincided.





漂移速度测量装置

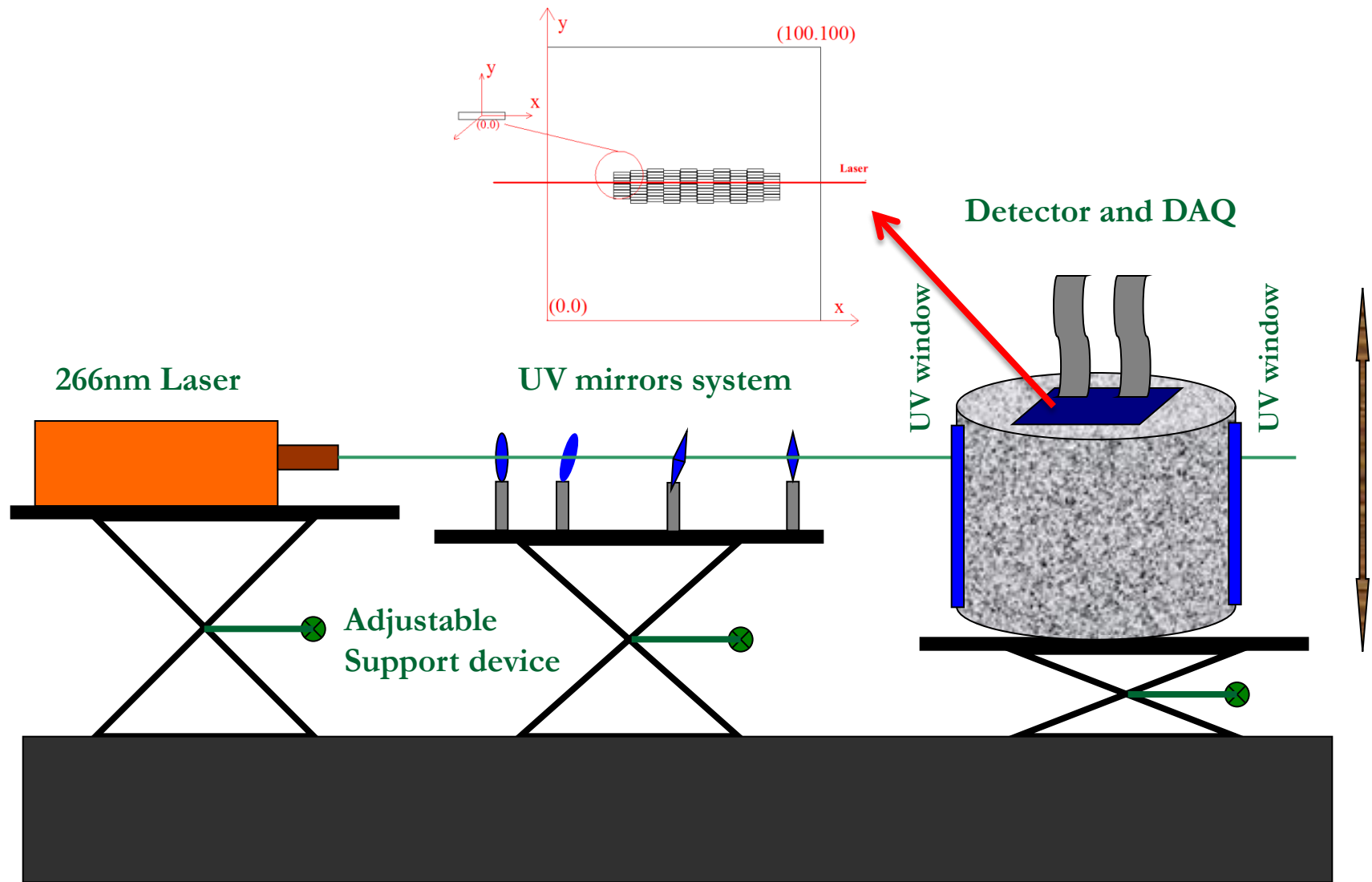
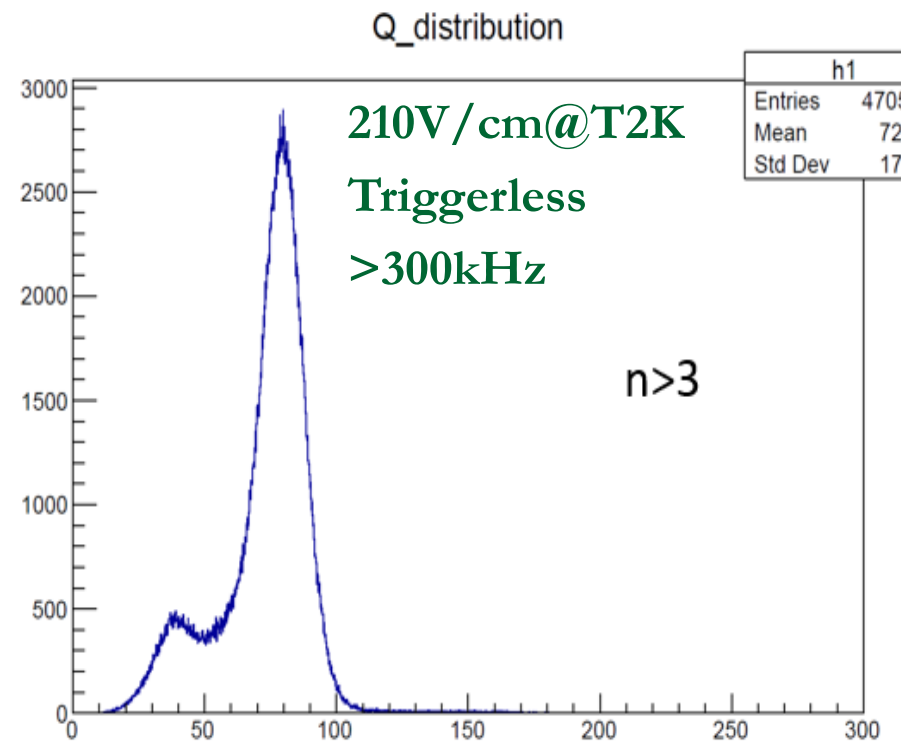
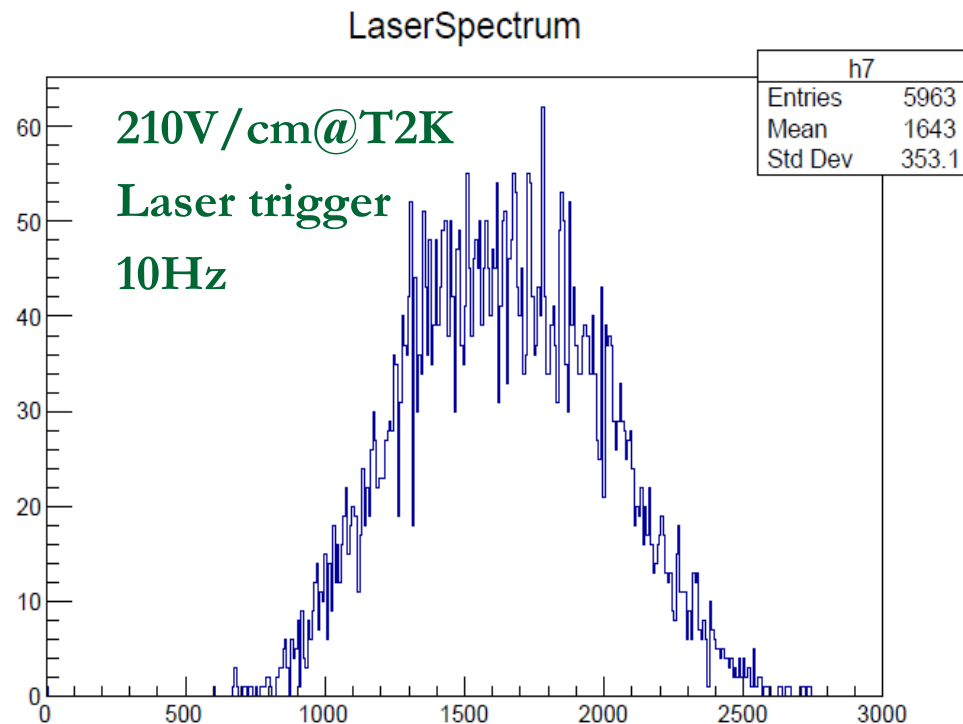


Diagram of the TPC small prototype

55Fe能谱与266nm激光能谱



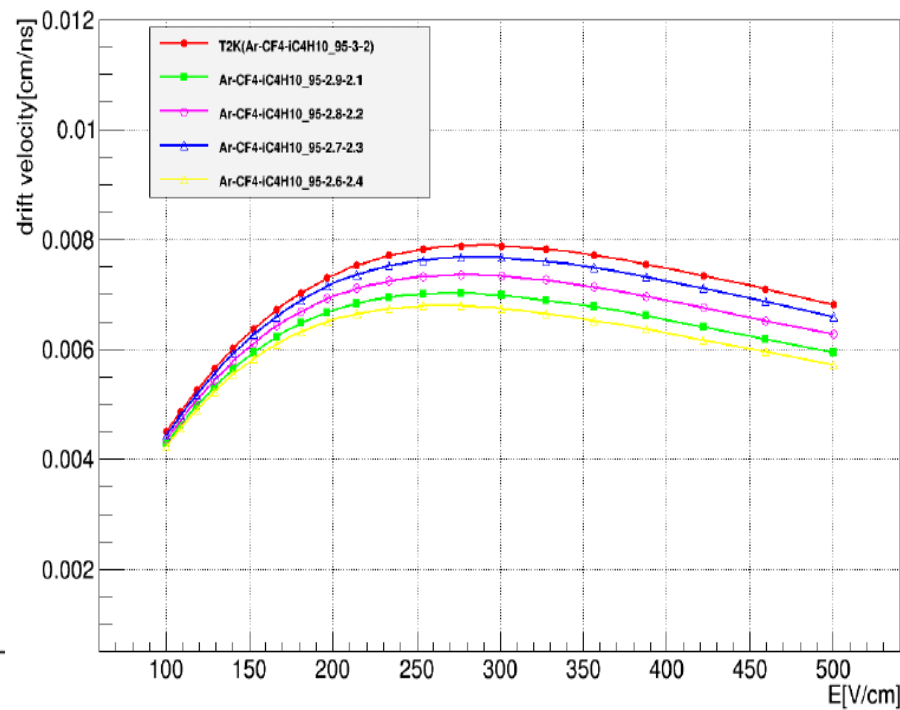
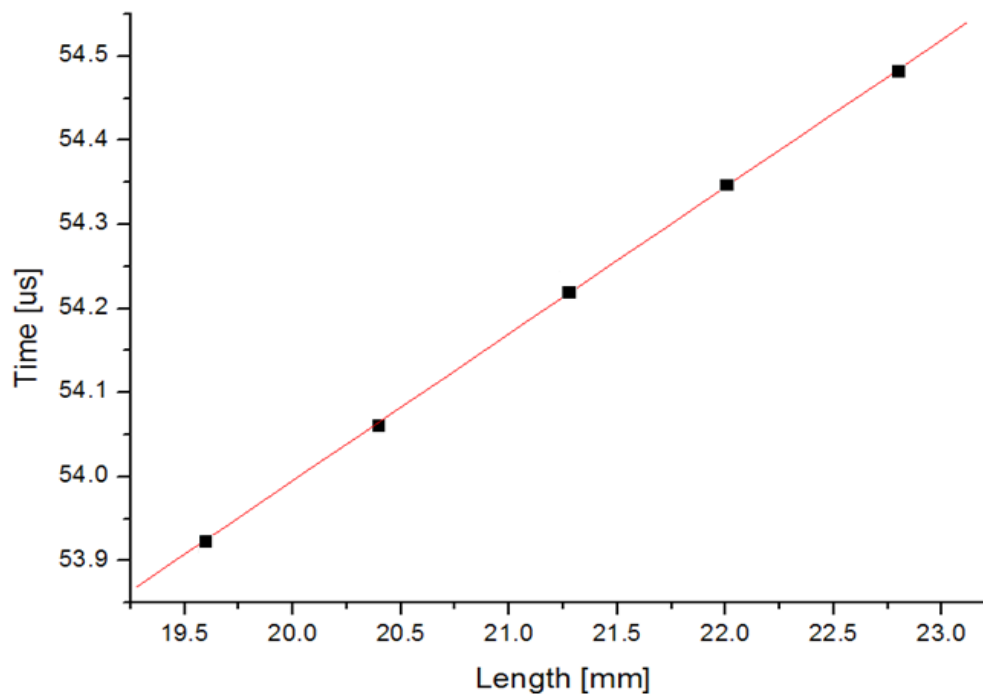
⁵⁵Fe radioactive source



266nm laser beam@0.8mm²

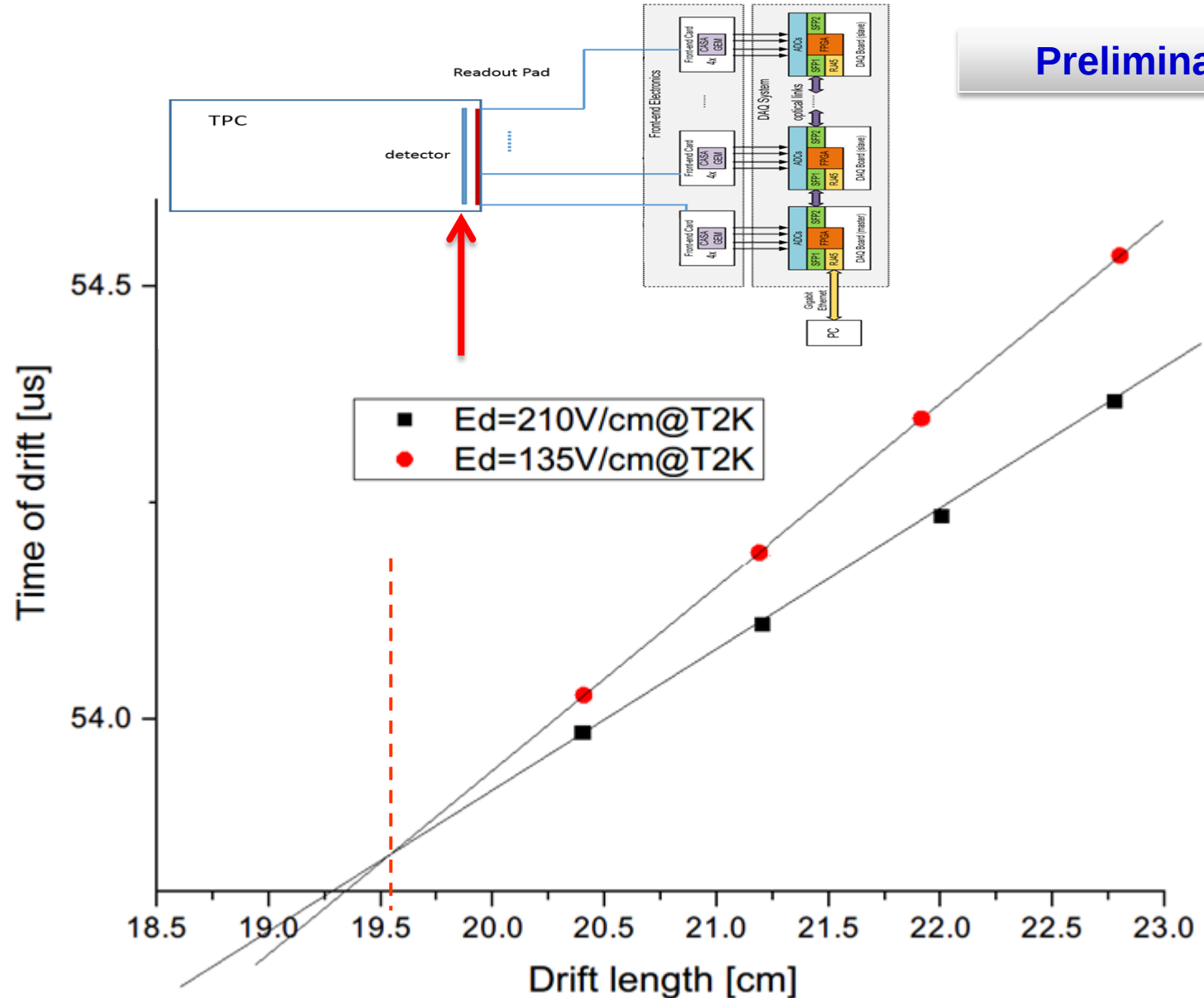
电子漂移速度测量

$61.53 \pm 0.15 \text{ } \mu\text{m/ns@210V/cm@T2K}$



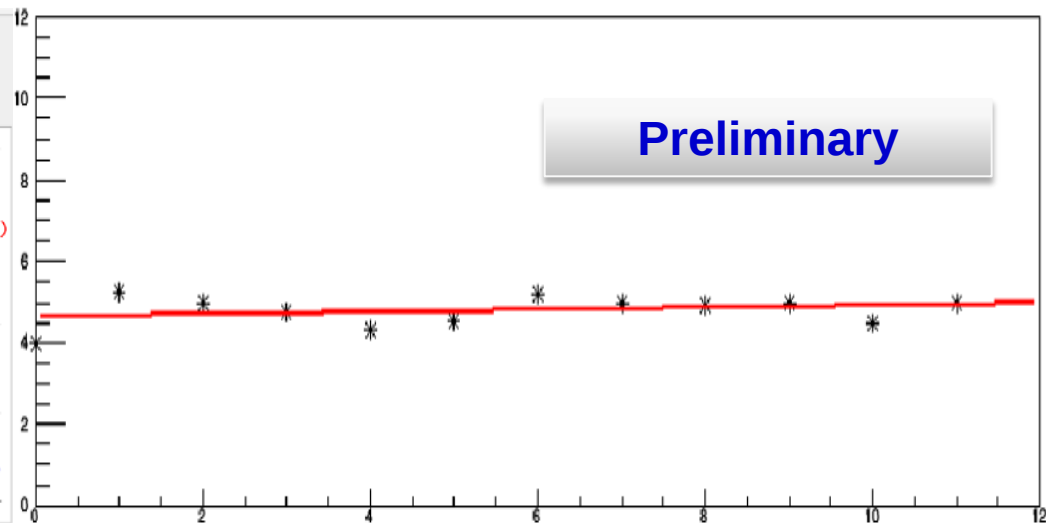
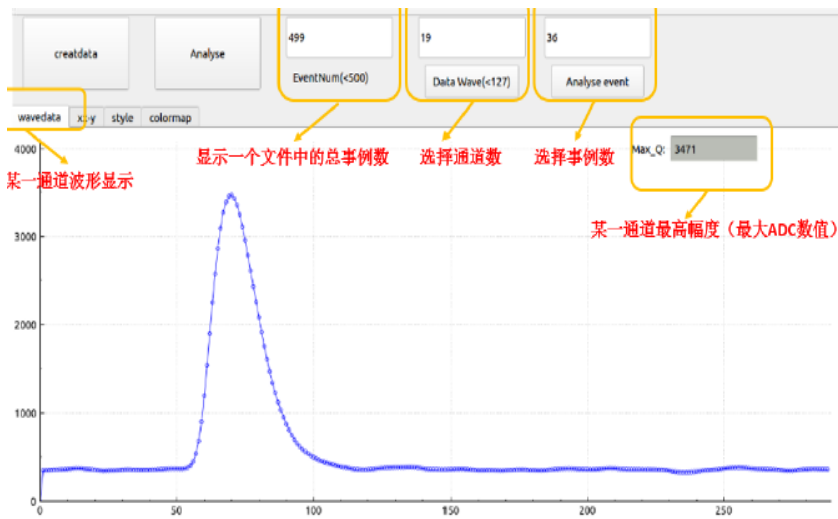
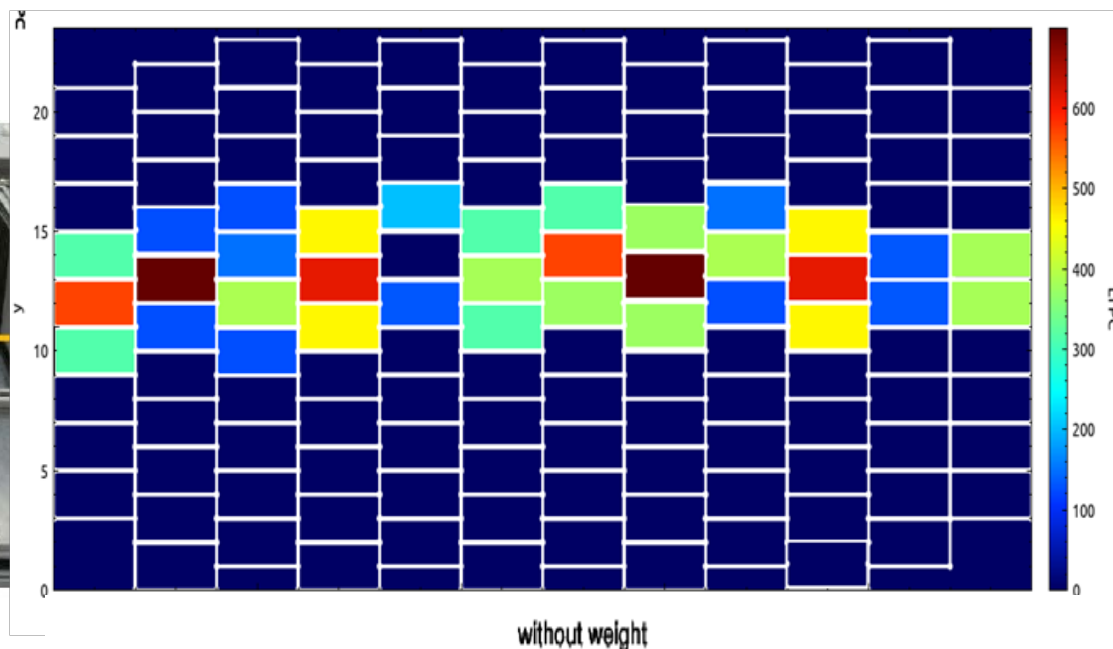
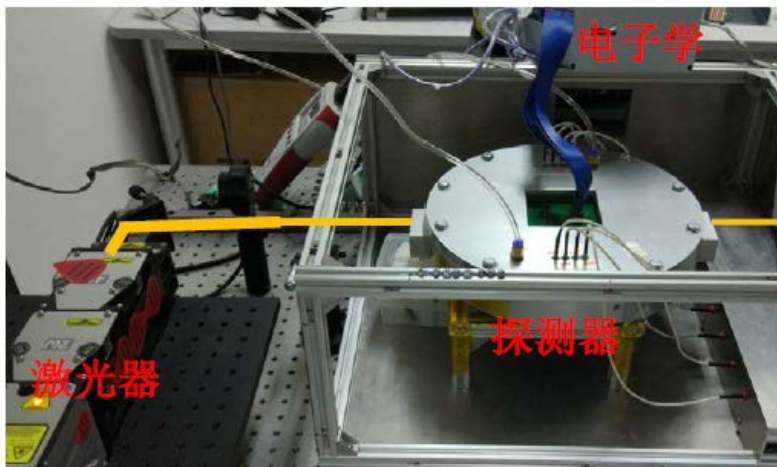
Test and simulation results of the drift velocity of the electron in the chamber

Z_0 位置信息(GEM上表面位置)



Preliminary

激光径迹实验研究

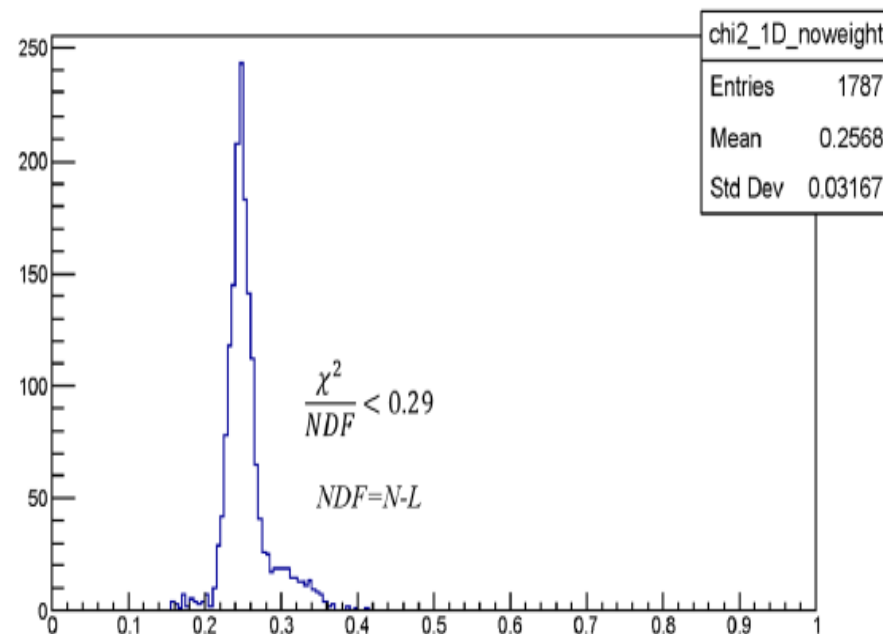
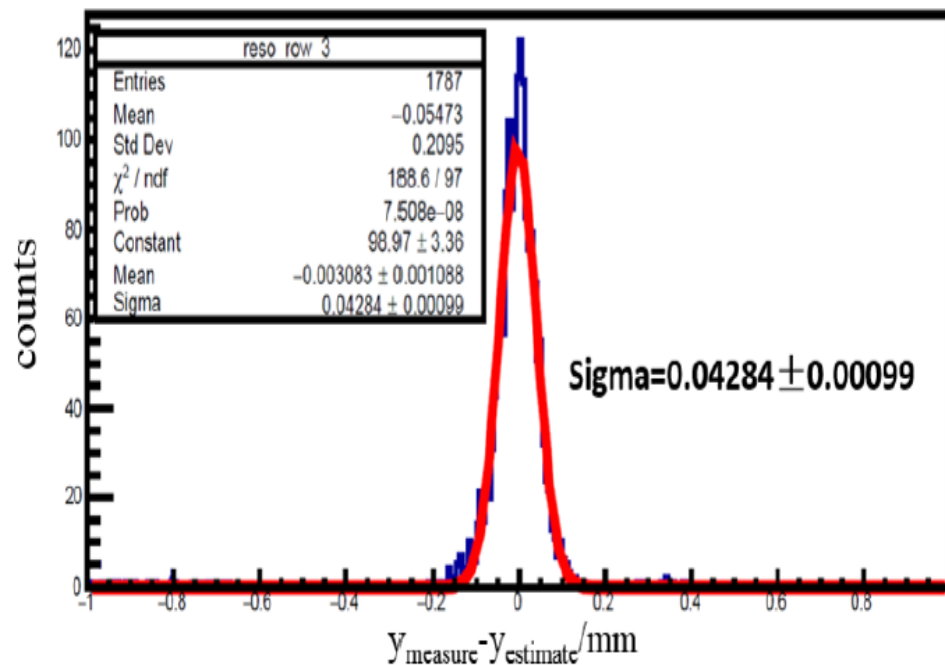


Preliminary results of Laser tracker energy spectrum and tracker

单点位置分辨率与 χ^2

Preliminary

Row_3(after shut down row4)



Position resolution and χ^2 with the laser beam

小结及下一步计划:

- 从物理机制与需求入手开始了266nm紫外激光径迹探测的实验研究
- 研究了266nm紫外激光光电效应机制的电子数实验测量
- 实验研究了266nm紫外激光产生特定径迹的位置、能量及分辨率等信息
- 下一步将开展二者结合的径迹实验研究

**特别致谢：感谢国家重点实验室对紫外光
与时间投影室径迹研究的经费支持**