

一.

1. 辐射长度

高能电子在物质中发生韧致辐射、光子发生正负电子对产生，使粒子能量/强度衰减至原来 $1/e$ 所需的物质厚度，用来表征电磁相互作用强弱。

2. 核作用长度

高能强子在物质中发生非弹性核强相互作用，粒子通量衰减至初始 $1/e$ 的物质厚度，描述强相互作用衰减特征。

(1) 能量衰减	(2) 多重散射角
① C	$\theta_{rms} = \frac{13.6 \text{ MeV}}{E} \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[1 + 0.028 \ln \frac{x}{X_0} \right]$
$\rho = 2.20, X_0 = 42.70, x = \rho x_d = 2.20 \times 0.1 = 0.22 \text{ g/cm}^2$	① 当 $E = 1 \text{ GeV} = 1000 \text{ MeV}$
$\frac{x}{X_0} = \frac{0.22}{42.70} = 0.00515$	$\theta_C = 0.000781 \text{ rad}, \theta_{Al} = 0.00120 \text{ rad}, \theta_W = 0.00672 \text{ rad}$
$\frac{E}{E_0} = e^{-\frac{x}{X_0}} = 99.49\%$	② 当 $E = 10 \text{ GeV} = 10000 \text{ MeV}$
② Al	$\theta_C = 0.000078 \text{ rad}, \theta_{Al} = 0.000120 \text{ rad}, \theta_W = 0.000672 \text{ rad}$
$\rho = 2.70, X_0 = 24.01, x = \rho x_d = 0.27 \text{ g/cm}^2$	③ $E = 100 \text{ GeV} = 10^5 \text{ MeV}$
$\frac{x}{X_0} = \frac{0.27}{24.01} \approx 0.01125$	$\theta_C = 0.000078 \text{ rad}, \theta_{Al} = 0.000120 \text{ rad}, \theta_W = 0.000672 \text{ rad}$
$\frac{E}{E_0} = e^{-\frac{x}{X_0}} = 98.88\%$	
③ W	
$\rho = 19.30, X_0 = 676, x = \rho x_d = 1.93 \text{ g/cm}^2$	
$\frac{E}{E_0} = e^{-\frac{x}{X_0}} = 75.16\%$	

3. 原因

薄介质：穿行物质薄，电离碰撞次数少，能量损失随机涨落剧烈，服从朗道分布，曲线不对称、右侧拖长尾，最概然损失小于平均损失。

厚介质：碰撞次数海量，随机涨落相互抵消，满足中心极限定理，过渡为高斯正态分布，图像对称平缓，均值与峰值基本一致。

二.

1. 泊松过程

在固定的时间或空间区间内，独立事件以恒定的平均发生率随机发生的过程，且事件发生无后效性（即某一时刻事件的发生概率与之前是否发生过无关）。

在粒子探测中，典型的泊松过程包括：放射性衰变、探测器在固定时间内的信号计数、粒子束流中的击中数统计等。

2. 泊松分布的性质与应用

泊松分布描述泊松过程中，事件发生次数的概率分布，其特点是：仅取非负整数值，分布的期望（均值）与方差完全相等，均等于事件的平均发生次数。

泊松分布的核心性质是可加性：两个独立泊松过程的叠加，仍是一个泊松过程，其平均发生率为两个过程之和。

应用：在粒子物理中，泊松分布是处理计数统计误差的基础，例如探测器的本底计数、信号计数的涨落分析，都以泊松分布为理论依据。

3. 泊松分布与二项分布、高斯分布的关系

①. 与二项分布的关系

泊松分布是二项分布的极限形式：当试验次数极大、单次事件发生的概率极低，且二者的乘积（即平均发生次数）为常数时，二项分布收敛于泊松分布。这一关系在处理“大量低概率事

件”的计数问题时尤为重要。

②. 与高斯分布的关系

当泊松分布的平均发生次数足够大时，分布会从偏态逐渐变为对称，趋近于高斯（正态）分布。此时，泊松分布的计数误差可以用高斯分布的误差公式近似计算，这是实验中常用的误差简化方法。

4. 母函数的性质与应用 用母函数证明：两个独立泊松变量的和仍是泊松分布

设 $X_1 \sim P(\lambda_1)$ 和 $X_2 \sim P(\lambda_2)$ 且 X_1 与 X_2 相互独立

$$\therefore G_{X_1}(s) = \sum_{k=0}^{\infty} s^k \frac{\lambda_1^k e^{-\lambda_1}}{k!} = e^{-\lambda_1} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda_1 s)^k}{k!} = e^{\lambda_1(s-1)}$$

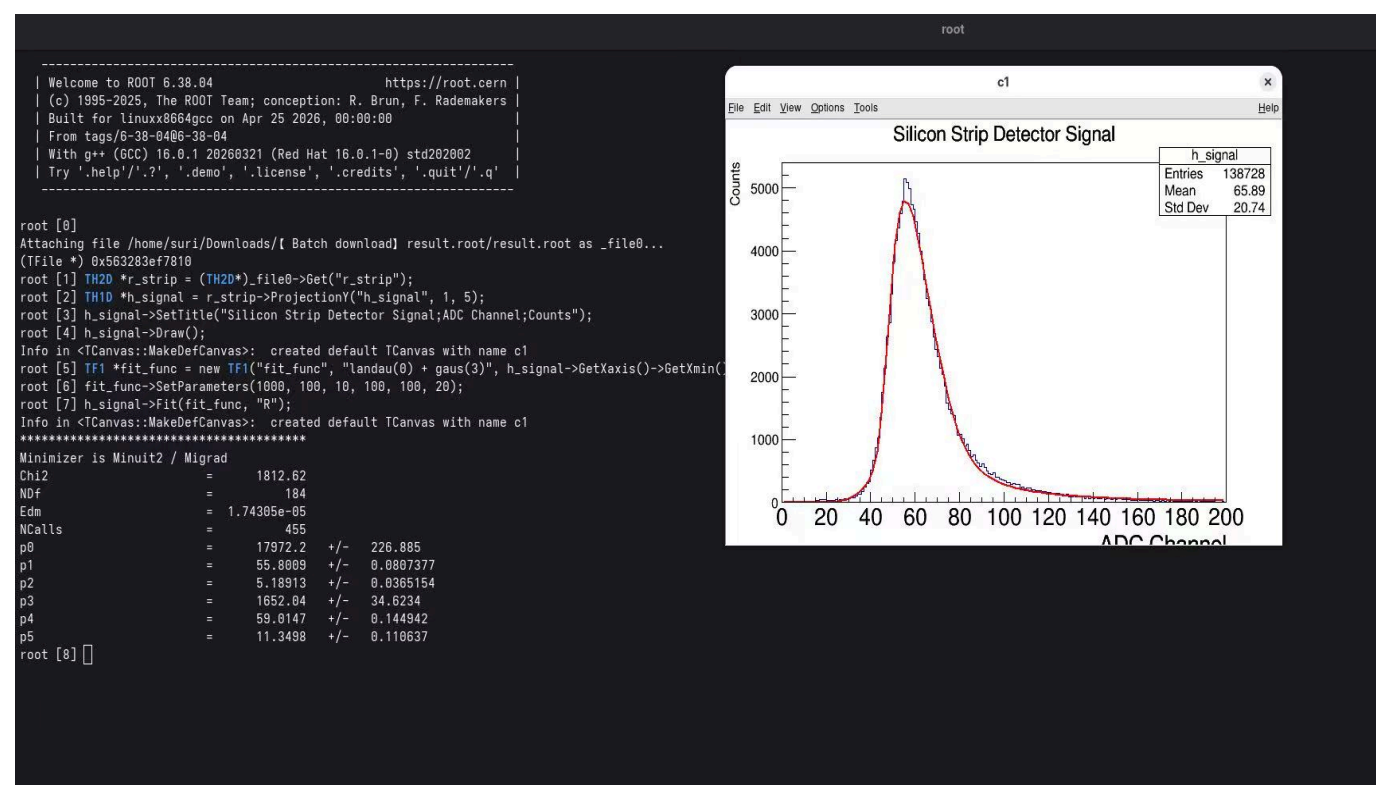
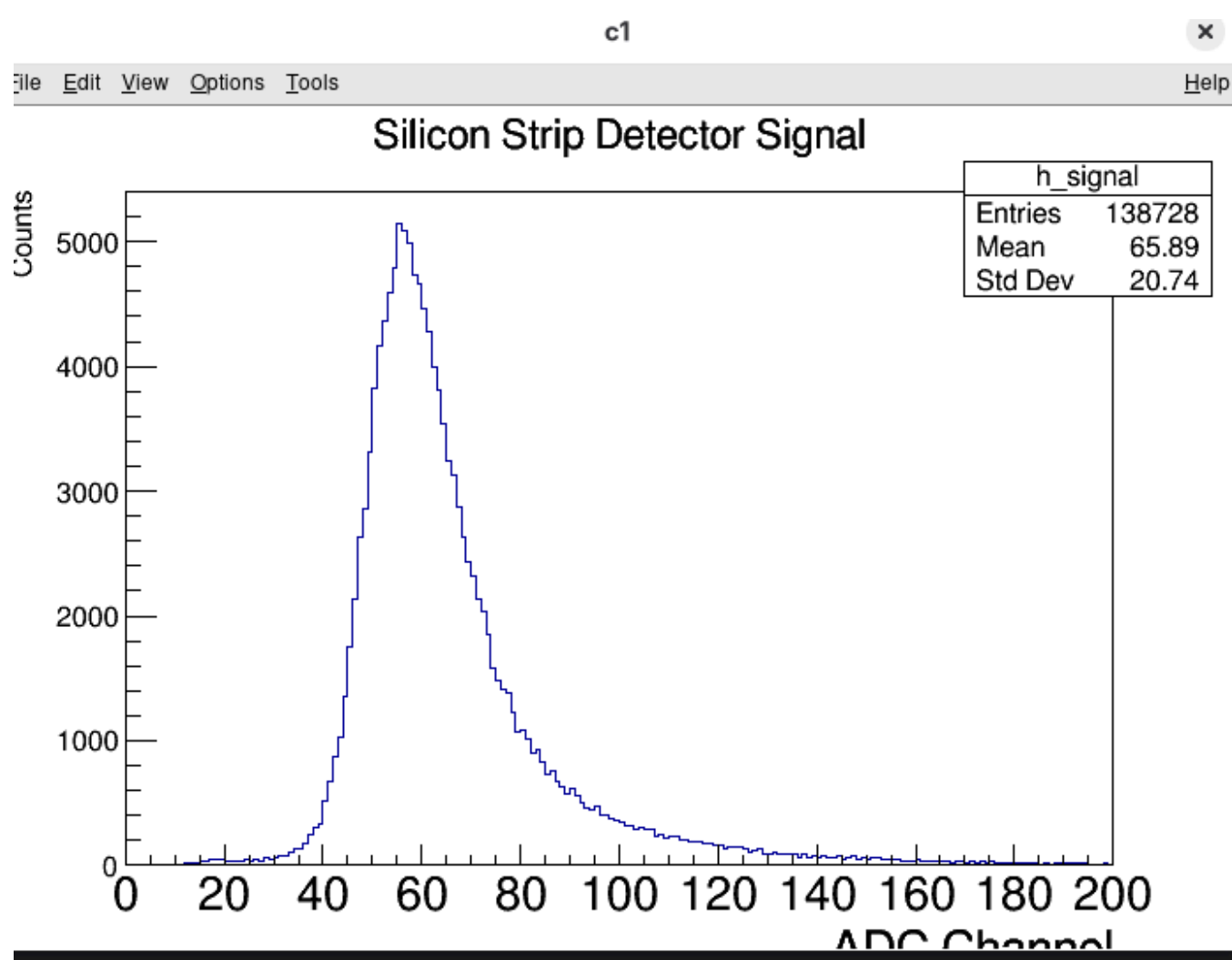
设 $Y = X_1 + X_2$

$$\text{则 } G_Y(s) = E[s^{X_1+X_2}] = E[s^{X_1}] \cdot E[s^{X_2}] = e^{\lambda_1(s-1)} \cdot e^{\lambda_2(s-1)} = e^{(\lambda_1+\lambda_2)(s-1)}$$

$\therefore Y \sim P(\lambda_1 + \lambda_2)$

证毕！

三.



该硅微条探测器信号服从朗道分布，呈现出峰形尖锐、左侧快速下降、右侧拖尾的典型不对称特征。

