

1、阅读粒子探测技术1、2两章的内容，并回答下面的问题

- 辐射长度和核作用长度分别是什么，简单比较经过1毫米厚的碳、铝、钨板后电子的能量衰减到原来的多少，对于1 GeV、10 GeV、100 GeV的电子，经过这些物质时，多重散射角分别为多大？（不需要非常精确的结果）

- 简单介绍粒子穿过厚、薄介质时，电离能量损失的分布有何不同，为什么？

辐射长度表示一个高能电子通过韧致辐射能量损失到 $1/e$ 所经过的平均路程 (X_0)

辐射长度常用经验公式：

$$X_0 = \frac{716.4 \cdot A}{Z(Z+1)\ln(287/\sqrt{Z})} [\text{g/cm}^2]$$

$$E = E_0 e^{-x/X_0}$$

该式描述带电粒子的能量因辐射损失而指数衰减。

类似于光子束，可以根据强子束强度在物质中的衰减定义核相互作用长度。

$$N = N_0 e^{-x/\lambda_I}$$

根据 $E = E_0 e^{-x/X_0}$

表 2.1.4 一些吸收体物质的辐射长度和临界能量

物质	Z	A	X_0 [g/cm ²]	X_0/ρ [cm]	E_c [MeV]
氢	1	1.01	63.0	7.0×10^5	350
氦	2	4.00	94.3	5.3×10^5	250
锂	3	6.94	82.8	155.1	180
碳	6	12.01	42.7	18.9	90
氮	7	14.01	38.0	3.0×10^4	85
氧	8	16.00	34.2	2.4×10^4	75
铝	13	26.98	24.0	8.9	40
硅	14	28.09	21.8	9.4	39
铁	26	55.85	13.8	1.75	20.7
铜	29	63.55	12.9	1.44	18.8

物质	Z	A	X_0 [g/cm ²]	X_0/ρ [cm]	E_c [MeV]
银	47	109.9	9.3	0.89	11.9
钨	74	183.9	6.8	0.35	8.0
铅	82	207.2	6.4	0.56	7.40
空气	7.3	14.4	36.7	2.8×10^4	84
石英	11.2	21.7	27.1	12.3	57
水	7.5	14.2	36.1	36.1	83

可以计算得出：

经过 1mm 厚的碳板，电子能量衰减到原来的 99.5%；

经过 1mm 厚的铝板，电子能量衰减到原来的 98.9%；

经过 1mm 厚的钨板，电子能量衰减到原来的 75.2%。

根据下面公式以及上述表格数据

$$\theta_{\text{plane}}^{\text{rms}} = \sqrt{\langle \theta_{\text{plane}}^2 \rangle} = \frac{13.6}{\beta c p} z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[1 + 0.038 \ln \frac{x}{X_0} \right]$$

可以计算得出

1GeV 电子经过 1mm 的碳、铝、钨板时，多重散射角分别为 0.8、1.2、6.9；

10GeV 电子经过 1mm 的碳、铝、钨板时，多重散射角分别为 0.08、0.12、0.69；

100GeV 电子经过 1mm 的碳、铝、钨板时，多重散射角分别为 0.01、0.01、0.07；

粒子穿过厚介质时，能量损失分布近似高斯分布，对称，且集中在平均能量损失附近；

粒子穿过薄介质时，能量损失分布为朗道分布，呈明显不对称，高能端有很长的尾巴。

因为粒子穿过厚介质的时候，大量相互作用的统计涨落相互抵消，根据中心极限定理，能量分布趋近于高斯分布，中心值为平均能量损失，方差由涨落决定；而粒子穿过薄介质的时候，粒子与原子的相互作用次数少，单次硬碰撞的大能量损失事件占比高，导致分布偏斜、长尾显著。

2、泊松过程、泊松分布的性质和应用以及和二项分布、高斯分布的关系；母函数的性质及应用，例：利用母函数证明两个泊松分布的随机变量的和仍是泊松分布

泊松过程是描述单位时间/空间内稀有事件发生的计数过程，满足无记忆性、独立增量性和平稳性。

主要可以应用于：

1. 稀有气体计数：事故、故障、粒子计数、放射性衰变。
2. 抽样统计：产品次品数、人群中罕见特征人数。
3. 探测器物理：高能粒子入射数、信号计数、噪声脉冲数；
4. 排队论：单位时间内顾客到达数。

泊松分布：

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

表示单位时间内发生 k 次事件的概率，均值与方差均为 λ 。

当 n 趋近于正无穷， p 趋近于 0， $np = \lambda$ 时，二项分布趋近于泊松分布，

当 λ 较大时，泊松分布可以近似为高斯分布。

泊松分布母函数： $G(s) = e^{\lambda(s-1)}$

$$G_{X+Y}(s) = G_X(s)G_Y(s) = e^{\lambda_1(s-1)} \cdot e^{\lambda_2(s-1)} = e^{(\lambda_1+\lambda_2)(s-1)}$$

由母函数唯一性，和仍为泊松分布。

3、从下面的链接中下载root文件，打开其中的r_strip (TH2D)，选取X方向前5个bin，将其投影到Y方向作为新的TH1D，这是粒子经过300微米硅微条探测器收集到的信号，指出其服从什么分布并拟合，并以论文的标准作图。

分享文件：result.root等[批量分享]

网盘链接：<https://pan.cstcloud.cn/s/vMvhmHm4TPI> 过期时间：2027-10-06 16:36:03

提示1：投影操作选取前5个的代码为r_strip→projectionY("",5,0)

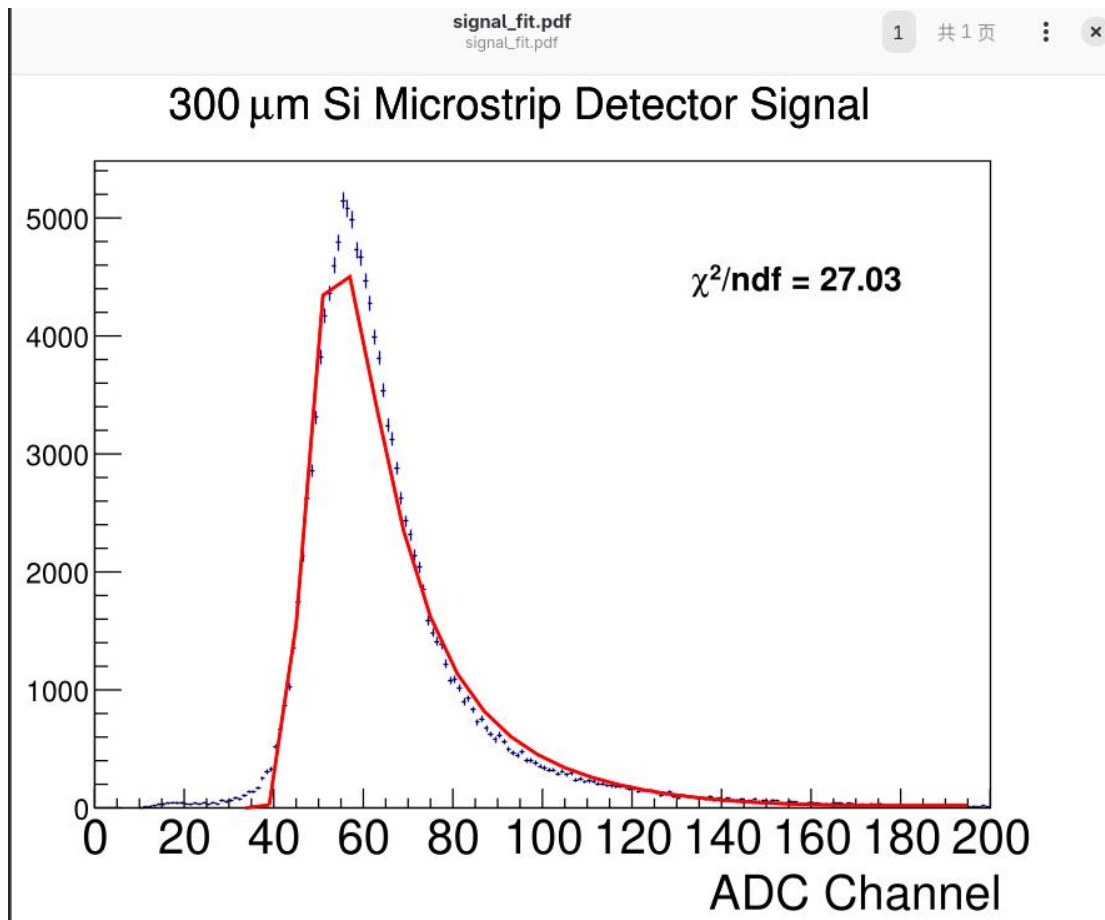
提示2：提示1也许不那么可靠

提示3：作图可以参考分享文件中style.h，在绘图程序中加入其头文件后

提示 1 给出的代码有问题，起始 bin 必须 \leq 结束 bin

粒子穿过硅微条探测器的信号服从朗道-高斯卷积分布

粒子在硅介质中电离能量损失的经典涨落，具有明显的最概然峰和高能长尾，并且探测器电子学噪声叠加在信号上，使低能端变宽，所以服从朗道-高斯卷积分布。



300 μm Si Microstrip Detector Signal

