

辐射长度

电子在某种物质中穿行，能量衰减到原来的 $1/e$ (约 36.8%) 所需的厚度。

物理意义： 描述电子因**韧致辐射**损失能量的快慢。 X_0 越小，说明这种材料"拦截"电子的能力越强。

各材料的辐射长度：

材料	X_0 (g/cm ²)	X_0 (cm)
碳 (C)	42.7	18.8
铝 (Al)	24.0	8.9
钨 (W)	6.76	0.35

1 毫米厚的能量衰减： 能量衰减因子为 e^{-d/X_0} ，其中 d 是厚度 (用 g/cm² 表示，即 $d = \rho \times 0.1\text{cm}$)。

材料	密度 (g/cm ³)	1mm 对应 x/X_0	能量剩余比例
碳	2.27	$0.227/42.7 \approx 0.0053$	$e^{-0.0053} \approx 99.5\%$
铝	2.70	$0.270/24.0 \approx 0.011$	$e^{-0.011} \approx 98.9\%$
钨	19.3	$1.93/6.76 \approx 0.285$	$e^{-0.285} \approx 75\%$

结论：1mm 钨板衰减很显著，碳和铝几乎不衰减

核作用长度

强子 (质子、 π 介子等) 在物质中发生一次**强相互作用** (核反应) 之前平均走过的距离。

对比辐射长度：

- 辐射长度针对**电子** (电磁相互作用)
- 核作用长度针对**强子** (强相互作用)
- 同一材料中， $\lambda_I \gg X_0$ ，即强子穿透力远强于电子

材料 λ_I (cm)

碳 ~ 38

铝 ~ 39
钨 ~ 9.6

多重散射角

粒子穿过物质后方向偏离，典型偏转角的均方根为：

$$\theta_0 = \beta p \sqrt{13.6 \text{ MeV} \cdot z \cdot x/X_0 \left(1 + 0.038 \ln(x/X_0)\right)}$$

其中 p 是动量， $\beta \approx 1$ （相对论电子）， $z=1$

对 **1 GeV、10 GeV、100 GeV** 电子，穿过 **1mm** 各材料：

(x/X_0 见上表， p 单位 MeV/c)

能量	碳(1mm)	铝(1mm)	钨(1mm)
1 GeV	~ 0.10 mrad	~ 0.14 mrad	~ 0.72 mrad
10 GeV	~ 0.010 mrad	~ 0.014 mrad	~ 0.072 mrad
100 GeV	~ 0.001 mrad	~ 0.0014 mrad	~ 0.0072 mrad

规律：能量越高，散射角越小；钨最重，散射最大。

厚介质 vs 薄介质的电离能损分布

薄介质：

- 粒子只发生**少量碰撞**
- 每次碰撞的能量转移随机性很大，偶尔会有一次"大碰撞" (δ 射线)
- 分布呈**朗道分布**：有一个尖锐的峰，但右侧有很长的"拖尾"
- 峰值（最可几值）比平均值小很多

厚介质：

- 粒子发生**大量碰撞**，根据中心极限定理
- 分布趋向**高斯分布**，对称，峰值 \approx 平均值
- 拖尾消失

物理原因：薄介质中碰撞次数少，单次大能量转移的偶然性主导了分布的形状；厚介质中大量碰撞的统计平均使涨落变小。


```
GNU nano 8.7.1 analysis.C Modified
#include "style.h"

void analysis() {
    TFile *f = TFile::Open("result.root");
    TH2D *h2 = (TH2D*)f->Get("r_strip");
    TH1D *h1 = (TH1D*)h2->ProjectionY("h_proj", 1, 5);
    TF1 *fLandau = new TF1("fLandau", "Landau",
                          h1->GetXaxis()->GetXmin(),
                          h1->GetXaxis()->GetXmax());

    h1->Fit(fLandau, "R");
    TCanvas *c = new TCanvas("c", "Silicon Strip Signal", 800, 600);
    MyStyle();
    h1->SetTitle("");
    h1->GetXaxis()->SetTitle("Collected Charge [ADC counts]");
    h1->GetYaxis()->SetTitle("Entries");
    h1->Draw("E");
    fLandau->Draw("same");
    c->SaveAs("result.pdf");
}
```