

康普顿散射——预习

张轩，复旦大学核科学与技术系

一、实验目的

1. 了解并掌握 NaI(Tl) 闪烁谱仪的工作原理和使用；
2. 学会康普顿散射效应的测量技术；
3. 验证康普顿散射的能量和微分截面随散射角变化的关系。

二、实验原理

2.1 散射光子的能量和立体角的关系

根据能动量守恒，可以推出散射光子和反冲电子的能量和散射角的关系为

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2}(1 - \cos \theta)}; E'_e = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0 c^2}{E_\gamma(1 - \cos \theta)}}$$

2.2 Compton 微分散射截面

Compton 的微分散射截面可以根据 Klein-Nishina¹ 计算（下面的公式处于自然单位制中）

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} = \frac{\pi\alpha^2\omega'^2}{m_e^2\omega^2} \left(\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - \sin^2\theta \right) \quad (1)$$

其中 m_e 是电子质量， α 是电磁耦合常数， ω 是入射光子角频率， θ 是出射角度， ω' 是出射光子角频率，满足

$$\omega' = \left(\frac{1 - \cos\theta}{m_e} + \frac{1}{\omega} \right)^{-1} = \frac{\omega}{1 + \frac{\omega}{m_e}(1 - \cos\theta)}$$

2.3 微分散射截面的测量方法

实验上，微分散射截面的物理意义是

$$\frac{dN(\Omega)}{d\Omega} = \frac{d\sigma}{d\Omega} N_0 N'$$

¹https://yzhxxzxy.github.io/teaching/1807_QFT.pdf

其中, N_0 是入射粒子总数 (本实验中是入射光子数), N' 是样品中的参与散射的粒子数, 本实验中是参与散射的电子数 N_e 。

实验上不可能真正的测量密度分布函数, 只可能测量小区间上的分布。于是公式退化为

$$\Delta N(\Omega) = \frac{d\sigma}{d\Omega} N_0 N' \Delta\Omega$$

其中, $\Delta\Omega$ 是探测器的小立体角, $\Delta N(\Omega)$ 是该探测器所接收到的某种出射粒子数。

实验中不会测量样品的电子数 N_e 和入射总粒子数 N_0 , 只会测量相对截面的大小。所以只有 $\Delta N(\Omega)$ 是需要有效测量的。

实验中使用探测器来测量 $\Delta N(\Omega)$, 需要考虑探测器的效率和全能峰效率。

$$\begin{aligned}\Delta N_{\text{detect}}(\Omega) &= \Delta N(\Omega) \varepsilon_f \\ \varepsilon_f(\theta) &= R\varepsilon, \eta = \frac{\Omega}{4\pi} \varepsilon\end{aligned}$$

三、实验装置

- 5 mCi 密封的 ^{137}Cs 放射源, 1 个;
- 标准 γ 源, 1 套;
- 康普顿散射台, 1 套 (散射样品中心到探测晶体表面的距离为 226 mm);
- 散射样品 ($\Phi 20$ mm 铝棒), 1 支;
- NaI(Tl) 探头 $\Phi 40 \times 40$ mm, 1 台;
- BH1324 型一体化多道分析器, 1 台;
- PC 机, 1 台;
- 双踪示波器, TDS1001B-SC, 1 台。

四、实验内容概要和预习思考题

4.1 实验内容

1. 调整 NaI(Tl) 闪烁谱仪系统, 并作能量刻度;
2. 改变散射角, 测量散射光子的能量 E'_γ , 并与理论值作比较;
3. 测量康普顿微分散射截面的相对值, 并与理论值作比较。

4.2 预习思考题

预习思考题 1. 如何确定探测器所加高压和放大器的倍数?

答. 使得在放射源信号的放大器的输出幅度为合适值即可

预习思考题 2. 如何确定每个角度处的测量时间?

预习思考题 3. 如何去除全能峰处的本底?