

NaI(Tl)单晶 γ 能谱仪

08300190016 郭天乐

合作者 周佳俊

【摘要】 本文主要分析讨论在使用 NaI(Tl)单晶 γ 能谱仪的相关实验中遇到的如本底的影响，compton边缘取法，以及定标方法等问题。

【关键字】 γ 能谱 定标 compton边缘

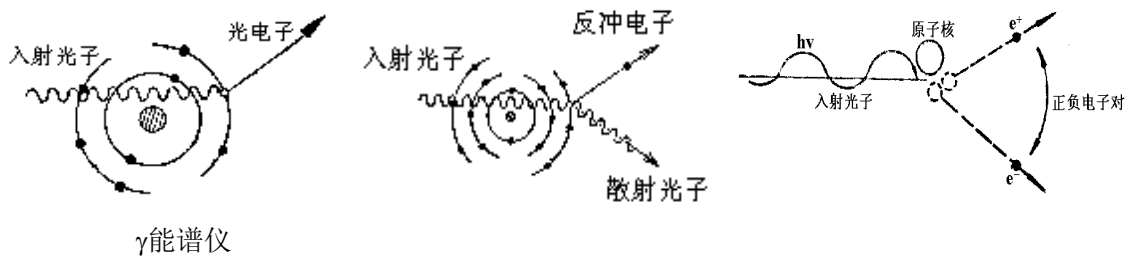
一. 引言

测量 γ 射线的强度和能量是核辐射探测的一个重要方面。在核物理研究中，测量原子核的激发能级、研究核衰变纲图、测定短的核寿命及进行核反应实验等，都需要测量 γ 射线。在放射性同位素工业、农业、医疗和科学研究的各个应用中，也经常使用 γ 射线和要求进行 γ 射线的各种测量。

二. 实验原理

γ 射线与物质的相互作用

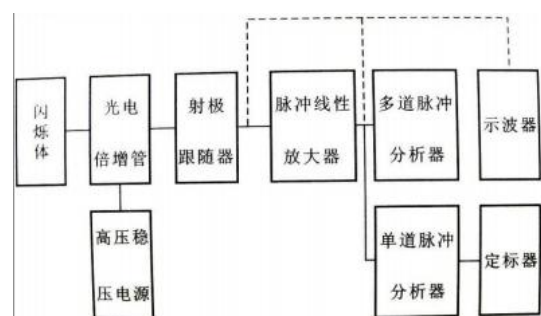
如图，从左至右分别为光电效应，compton散射以及电子对效应



γ 能谱仪

γ 射线与闪烁体相互作用，产生次级电子，闪烁体吸收射线产生的次级电子的能量而使闪烁体的原子、分子电离和激发，退激时发射出大量的荧光光子，利用反射物和光导将荧光光子尽可能多的收集到光电倍增管的光阴极上，荧

光光子打到光阴极时，由于光电效应，他将产生光电子，这些光电子经级间电场加速和聚焦后，打在第一打拿级上，产生 3-6 个二次电子，这些二次电子再经过以后各级打拿级上的倍增。这些电子在阳极的负载电阻上输出电压脉冲，由于荧光光



强与 γ 光子在闪烁体内消耗的能量成正比，而荧光光强又与光电倍增管阳极上输出地电压脉冲的幅度成正比，所以我们可以根据脉冲幅度确定入射 γ 光子能量。

三. 实验装置



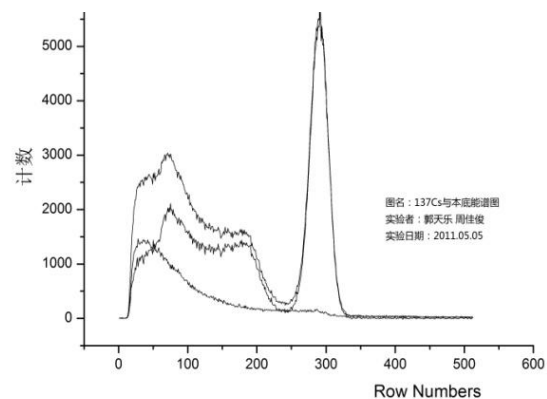
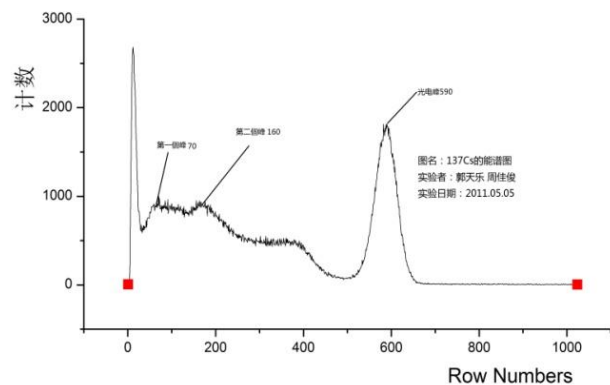
北京核仪器厂的 γ 能谱仪实验装置包括 NaI(Tl) 闪烁探头、 NIM (Nuclear Instrument Module) 机箱、高压电源、低压电源、线性放大器，脉冲多道幅度分析器，示波器，电脑及放射源等。

四. 实验结果与分析

关于本底

实验中,得到右图 1,可以看见,在 x 射线峰与反散射峰之间有一个与反散射峰差不多大小的峰,怀疑是由于本底产生的峰,之后进行了对于本底能谱的测量谱,并将之前得到的能谱扣去本底之后,如右图

最上面一根线是未扣去本底的能谱,最下面一根是本底谱线,中间的便是扣除本底后的谱线,可见,反散射之前的峰没有了,同时,全能峰两边的谷高度基本相同,故,在算全能峰面积的时



候可以较有说服力的说明该面积范围内没有 **compton** 散射的效应【左右两边谷计数基本为 0，右计数 5，左计数 72 相比峰值可忽略不计】

关于定标

实验推荐的定标方法是【利用 ^{137}Cs 的一个光电峰和 ^{60}Co 的两个光电峰对能谱仪定标】，然而很明显可以看到这三个峰所处的位置在实验中是在整个能谱的中间部分，然而实验可以测的峰有很大一部分在道址较小的地方【反散射峰，**compton** 平台，**x** 射线峰】，所以觉得为了让实验更准确的进行，定标峰扩大范围，取的是 ^{137}Cs 的反散射峰与光电峰和 ^{22}Na 的光电峰。以道址为 x ，能量为 y ，做 $y=a+bx$ 拟合，结果如下：

$$a=0.02837, b=0.00219, R=1$$

之前一种方式的定标结果为

$$a=0.02361, b=0.00221, R=0.998$$

| | 峰名 | E 理论 /MeV | E0 /MeV | 误差 /% | E1 /MeV | 误差 /% |
|-------------------|-------|-----------|---------|-------|---------|-------|
| ^{137}Cs | 反散射峰 | 0.184 | 0.181 | 1.6 | 0.184 | 0.0 |
| | 康普顿边缘 | 0.478 | 0.481 | 0.6 | 0.482 | 0.8 |
| | 全能峰 | 0.6616 | 0.665 | 0.5 | 0.663 | 0.1 |
| ^{60}Co | 反散射 1 | 0.2098 | 0.214 | 0.9 | 0.217 | 2.3 |
| | 反散射 2 | 0.2144 | | | | |
| | 康普顿边缘 | 0.9634 | 0.9634 | 0.969 | 0.966 | 0.3 |
| | 全能峰 1 | 1.1732 | 1.1732 | 1.177 | 1.172 | 0.1 |
| | 全能峰 2 | 1.3325 | 1.3325 | 1.332 | 1.325 | 0.6 |
| ^{22}Na | 湮灭峰 | 0.511 | 0.511 | 0.523 | 0.523 | 2.3 |
| | 反散射峰 | 0.2128 | 0.2128 | 0.187 | 0.190 | 10.8 |
| | 全能峰 | 1.2746 | 1.2746 | 1.288 | 1.281 | 0.5 |
| | 和峰 | 1.786 | 1.786 | 1.805 | 1.794 | 0.5 |
| | 康普顿边缘 | 1.0618 | 1.0618 | 1.087 | 1.082 | 1.9 |

*关于 ^{60}Co 的反散射峰

有理论值反推的道址为 83,85，所以在图上两散射峰的区别仅为 2，显然，峰宽就已有 20 左右，在图像上这两个峰是不可能分辨出来的，那么所测得的反散射峰就应

该是两者共同作用的结果。反散射峰的大小应该与全能峰的大小呈正比，那么可以得

$$E' = E_1 \frac{\text{全能峰 1 大小}}{\text{兩全能峰的和}} + E_2 \frac{\text{全能峰 2 大小}}{\text{兩全能峰的和}} = 0.2098 \frac{0.148}{0.248} + 0.2144 \frac{0.100}{0.248} = 0.212$$

以此做为测量得到的反散射峰的理论值。

从两种定标的结果来看，新的定标方法更为准确。

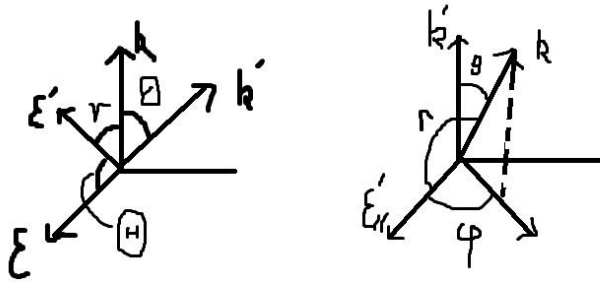
关于 Compton 边缘的取法

康普顿平台是由一个个不同角度的康普顿散射峰所叠加而成的，那么从康普顿散射的微分截面开始计算，

由克莱因-仁科公式

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{4} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right) \left[\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - 2 + 4\cos^2\theta\right]$$

其中 σ 即微分散射截面， Ω 为立体角， ω' 、 ω 为角频率， θ 为入射光子电矢量与散射光子电矢量间的夹角。



波矢 k 与 k' ，电矢 ϵ 与 ϵ' 之间的角度关系

通过角度的转化可以得到 $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{4} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right) \left[\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - 2\sin^2\theta\cos^2\varphi\right]$

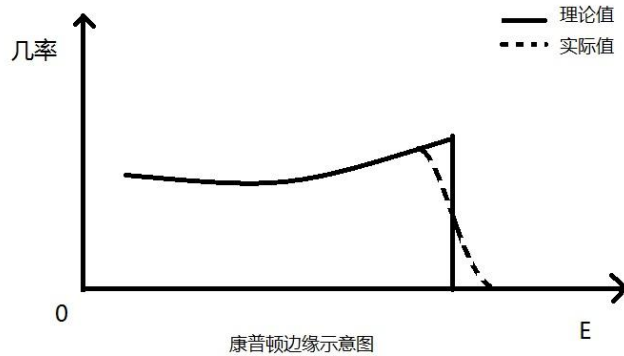
$$\text{又 } E = \hbar\omega \frac{2\alpha\cos^2\varphi}{(1+\alpha^2) - \alpha^2\cos^2\varphi}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_e} 2\pi\sin\varphi d\varphi = \frac{d\sigma}{d\Omega} 2\pi\sin\theta d\theta$$

$$\frac{d\sigma}{d\varphi} = \frac{d\sigma}{d\Omega_e} 2\pi\sin\varphi$$

$$\frac{d\sigma}{dE} = \frac{d\sigma}{d\varphi} \cdot \left| \frac{d\varphi}{dT} \right| \xrightarrow{\text{将以上各式代入}} \frac{\pi r_0^2}{am_0c^2} \left\{ 2 + \left(\frac{E}{\hbar\nu_0 - E} \right)^2 \left[\frac{1}{a^2} + \frac{\hbar\nu_0 - E}{\hbar\nu_0} - \frac{2(\hbar\nu_0 - E)}{E} \right] \right\}$$

其理论曲线为：



由于实际中一定会存在的类似于统计涨落等一系列的微小扰动，在边缘处必不可能是突变，而理论的最大值恰好落在渐变过程中的中点附近，若要精确得出该点的能量，应该由其他的模型模拟该实际曲线并计算得到，本实验中采取比较简单易行的直接读取渐变过程中点的办法来得到康普顿边缘。

五. 结论

在用 NaI(Tl) 单晶 γ 能谱仪测量 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{22}Na 的能谱的实验中，在 x 射线特征峰与反散射峰间的一个峰是本底的峰；定标曲线采用范围较大的【 ^{137}Cs 的反散射峰与光电峰和 ^{22}Na 的光电峰】效果更好；而康普顿边缘取值不在平台下降处，而是近似的取半高点作康普顿边缘。

参考书目

- [1] 戴道宣 戴乐山 .近代物理实验 第二版 . 高等教育出版社
- [2] 杨福家 .原子物理学 第四版 . 高等教育出版社

The Search of Gamma-ray Spectrometer Experiment

Guo Tianle, Zhou Jiajun

【Abstract】 In the experiment of gamma-ray spectrometer, the spectrum of ^{137}Cs , ^{60}Co and ^{22}Na were measured. The paper aims to discuss the error methods in the calculation.

【Key Word】 gamma-ray spectrometer, Calibration, Compton edge, Background noise