

用正比计数器测量 X 射线的吸收和特征谱

乔颖¹

1. 北京大学物理学院, 海淀区 北京 100871;

摘要: 该实验使用正比计数器测量了不同材料在 ^{238}Pu 的激发下, 发射的 X 射线特征谱。并测量了铝对铜的 X 射线质量吸收系数为 $54.0\text{cm}^2/\text{g}$ 。该探测器的能量分辨率为 18.3%。

关键词: X 射线, X 射线特征谱, 正比计数器, 能量分辨率, 质量吸收系数

1 引言

X 射线是一种电磁波, 它的波长在 100\AA 到 0.01\AA 之间。当 X 射线入射到目标物质后, 有可能将其内层电子打出, 而外层电子跃迁会内层则会发射出新的 X 射线, 也就是特征 X 射线谱。特征 X 射线在判别物质材料等方面有着广泛的应用。

本实验使用 ^{238}Pu 发射出的 X 射线激发 Zn、Cu、Ni 等样品产生其特征 X 射线, 并利用理论结果来确定待测样品的材料。同时也测量了 X 射线在铝中的吸收系数。通过本实验可以了解 X 射线与物质的相互作用以及其在物质中的吸收规律。

2 实验原理

2.1 射线特征谱

原子可以通过核衰变过程, 即内转换和轨道电子俘获, 也可以通过外部射线, 如 X 射线、 β 射线、 α 粒子或其他带电粒子与原子中电子相互作用产生内层电子空位, 在电子跃迁时产生特征 X 射线。波尔理论指出电子跃迁时放出的光子具有一定的波长 λ , 它的能量是:

$$h\nu = Z^2 \frac{2\pi^2 m_0 e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

因而根据特征 X 射线的能量, 即可辨认出激发原子的原子序数。

2.2 X 射线的吸收

当一束单色的 X 射线垂直射到吸收体上, 通过吸收体后, 其强度将减弱, 即 X 射线的吸收。这一过程分为吸收和散射两部分。对于我们研究的铝, 因为 X 射线的能量较低, 所以光电吸收效应占优势, 而康普顿散射则可以忽略。

理论上给出穿过厚度为 t 的成分均匀的吸收体, 透射光子数满足:

$$I(t) = I_0 e^{-\mu t} \quad (2)$$

2.3 正比计数器

正比计数器是一种气体放大器, 其可以将入射例子产生的触及电离放大很多倍, 而输出脉冲幅度仍保持着与最初电离事件数目成正比。正比管输出脉冲较大, 而本身的噪声则很小, 因而其在测量低能例子方面起着独特的作用。

3 实验内容和结果

本次的实验仪器如图所示:

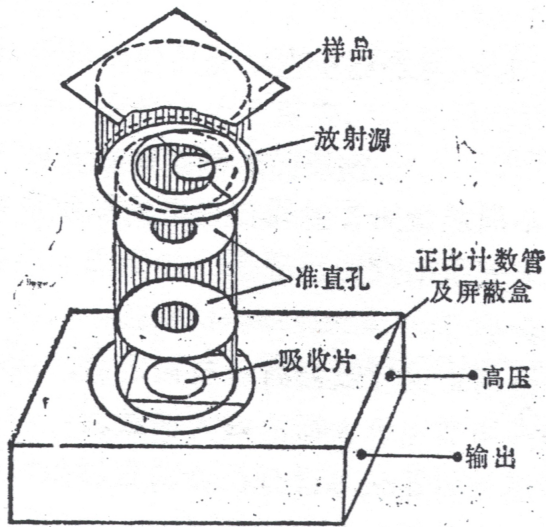


图 1 实验装置示意图。放射源 ^{238}Pu 产生的 X 射线向上打到样品上，激发的 X 特征射线则反向进入正比计数管从而被探测产生信号。

首先打开仪器，调整高压和放大倍数到合适的范围。本次实验中高压为 2000V，放大倍数为 209.6 倍。

随后将 Zn, Ge, Cr, Fe, Cu 以及三个未知样品分别放到样品架上，测量其特征 X 谱线。得到的数据如下表所示：

表 1 探测到的不同材料的 X 射线特征的峰位以及其对应的理论能量。

元素	峰道址	射线能量/KeV
Zn	562	8.638
Ge	646	9.885
Cr	352	5.414
Fe	414	6.403
Cu	521	8.047
未知 1	484	-
未知 2	316	-
未知 3	447	-

可以作图拟合得到探测器系统道址和能量的对应关系，如下图所示：

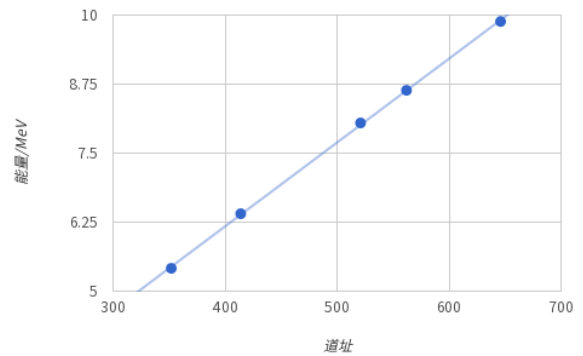


图 1 探测器通道址和能量关系的标定图

可以得到相应的线性关系，即：

$$Energy = (0.015 \times channel + 0.0095) \text{ KeV} \quad (3)$$

因而得知未知样品对应的特征能量为 7.355KeV, 4.835KeV, 6.8KeV，对应的材料为 Ni, V, Co。

接下来是测定铝片对铜样品产生的特征 X 射线的质量吸收系数。放置不同数量的铝片（厚度均为 $2.15\text{mg}/\text{cm}^2$ ），即可探测得到对应的能谱。选定积分范围为从 477 道到 566 道，统计测量得到的计数数目，即可计算吸收系数。

已知 $I = I_0 e^{-\mu_m \rho t}$ ，在两边取对数之后我们可以得到 $\ln I = c_1 \times \rho t + c_2$ 的线性关系，其中 c_1 便是我们待测的 μ_m 。测量得到的数据表和数据图如下：

表 2 测量铝对 X 射线的吸收系数的数据表。

厚度/ g/cm^2	计数	测量时间/s
0	25814	600
0.0043	38594	1200
0.0086	31254	1200
0.0129	24844	1200
0.0172	19872	1200
0.0215	15842	1200

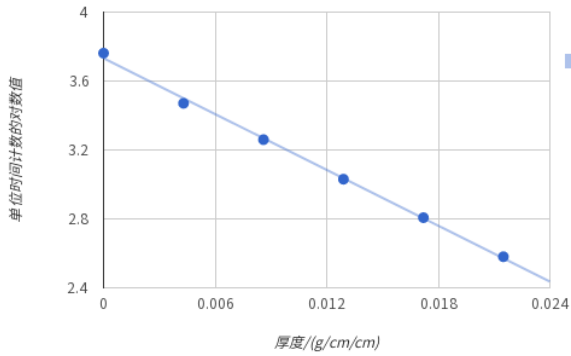


图 2 测量铝对 X 射线的吸收系数的数据图。

线性回归得到的拟合结果为：

$$\ln(I) = -54.0 * x + 3.732 \quad (4)$$

因而计算得到质量吸收系数 $\mu_m = 54.0 \text{ cm}^2/\text{g}$

最后利用 ^{55}Fe 测量探测器的能量分辨率，如下图所示：

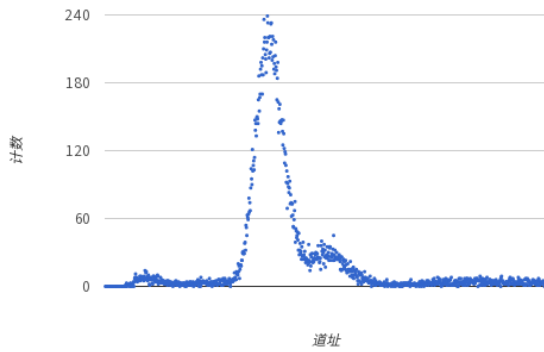


图 2 测量铝对 X 射线的吸收系数的数据图。

测量得到探测器测量 Fe 的峰的能量分辨率为 18.3%。

4 结论

本次实验通过使用正比计数器测量了不同材料在 ^{238}Pu 产生的 X 射线的激发下发出的特征 X 射线，并测量推断了三个未知样品分别为 Ni, V, Co。随后测量了铝对铜的特征 X 射线质量吸收系数为 $54.0 \text{ cm}^2/\text{g}$ 。最后利用 Fe 测量了该探测器的能量分辨率为 18.3%。

5 参考文献

- [1] Peking University, Fudan University Nuclear Experiment Nuclear Publishing House, 1989 (in Chinese) (北京大学，复旦大学. 原子核实验 原子能出版社, 1989)