

近代物理实验报告 1.3: γ 射线的吸收

xy 学号 匡亚明学院

2019 年 2 月 29 日

1 引言

γ 射线在穿透物质时, 会被物质吸收, 吸收作用的大小用吸收系数来表示。物质的吸收系数的值与 γ 射线的能量有关, 也与物质本身的性质有关。正确测定物质的吸收系数, 在核技术的应用与辐射防护设计中具有十分重要的意义。例如工业上广泛应用的料位计、密度计、厚度计, 医学上的 γ 照相技术等都是根据这一原理研究设计的。

2 实验目的

1. 了解 γ 射线在物质中的吸收规律。
2. 掌握测量 γ 吸收系数的基本方法。

3 实验仪器

γ 源、单道分析器等。

4 实验原理

4.1 窄束 γ 射线在物质中的吸收规律

射线在穿过物质时, 会与物质发生多种作用, 主要有光电效应, 康普顿效应和电子对效应, 作用的结果使 γ 射线的强度减弱。

准直成平行束的 γ 射线称为窄束 γ 射线, 单能窄束 γ 射线在穿过物质时, 其强度的减弱服从指数衰减规律, 即:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

其中 I_0 为入射 γ 射线强度, I_x 为透射 γ 射线强度, x 为 γ 射线穿透的样品厚度, μ 为线性吸收系数。用实验的方法测得透射率 $T = I_x/I_0$ 与厚度 x 的关系曲线, 便可根据 (1) 式求得线性吸收系数 μ 值。

为了减小测量误差, 提高测量结果精度, 实验上常先测得多组 I_x 与 x 的值, 再用曲线拟合来求解。即:

$$\ln(I_x) = \ln(I_0) - \mu x \quad (2)$$

由于 γ 射线与物质主要发生三种相互作用, 三种相互作用对线性吸收系数 μ 都有贡献, 可得:

$$\mu = \mu_{ph} + \mu_c + \mu_p \quad (3)$$

式中 μ_{ph} 为光电效应的贡献, μ_c 为康普顿效应的贡献, μ_p 为电子对效应的贡献。它们的值不但与 γ 光子的能量 E_γ 有关, 而且还与材料的原子序数、原子密度或分子密度有关。对于能量相同的 γ 射线不同的材料、 μ 也有不同的值。图 (1) 表示铅、锡、铜、铝材料对 γ 射线的线性吸收系数 μ 随能量 E_γ 变化关系。

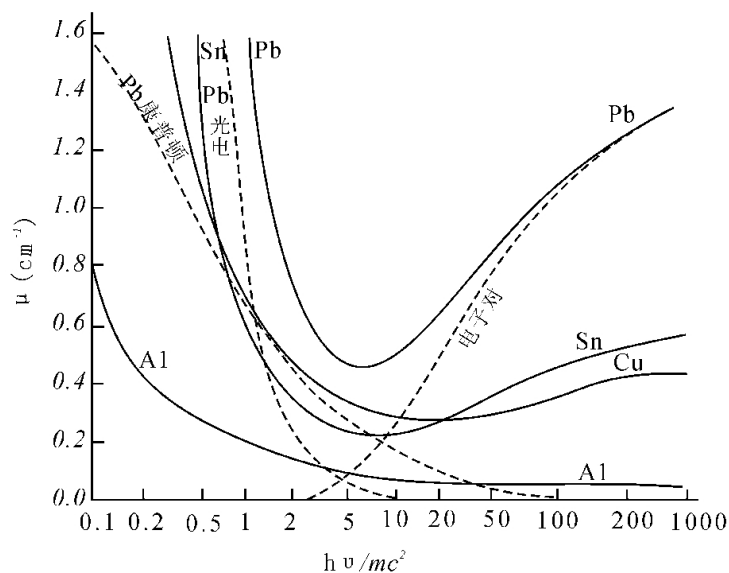


图 1: Pb、Sn、Cu、Al 对 γ 射线的吸收系数和能量的关系

图中横座标以 γ 光子的能量 $h\nu$ 与电子静止能量 $m_e c^2$ 的比值为单位, 由图可见, 对于铅低能 γ 射线只有光电效应和康普顿效应, 对高能 γ 射线, 以电子对效应为主。

为了使用上的方便, 定义 $\mu_m = \mu/\rho$ 为质量吸收系数, ρ 为材料的质量密度。则 (1) 式可改写成如下的形式:

$$I_x = I_0 e^{-\mu_m x_m} \quad (4)$$

式中 $x_m = x\rho$ 称为质量厚度, 单位是 g/cm^2 。

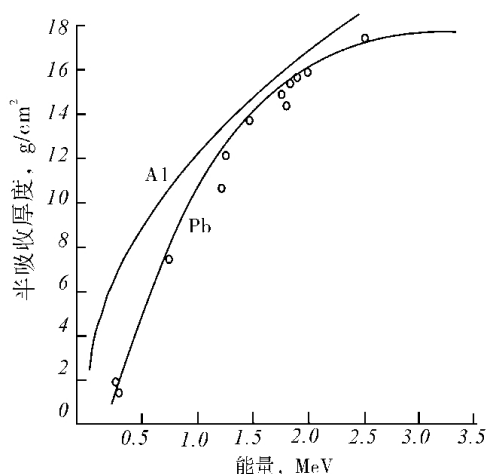


图 2: 半吸收厚度和 γ 射线能量的关系

4.2 半吸收厚度

物质对 γ 射线的吸收能力也常用半吸收厚度来表示，其定义为使入射 γ 射线强度减弱到一半所需要吸收物质的厚度。由 (1) 式可得

$$x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

显然，半吸收厚度 $x_{\frac{1}{2}}$ 与材料的性质和 γ 射线的能量都有关。图 (2) 表示铝、铅的半吸收厚度与 E_γ 的关系。若用实验方法测得 I_x 与 x 的变化关系，则可根据 (3) 式求得材料的线性吸收系数 μ 值，从而由 (5) 式求得 $x_{\frac{1}{2}}$ 。

测量装置如图 (3) 所示。

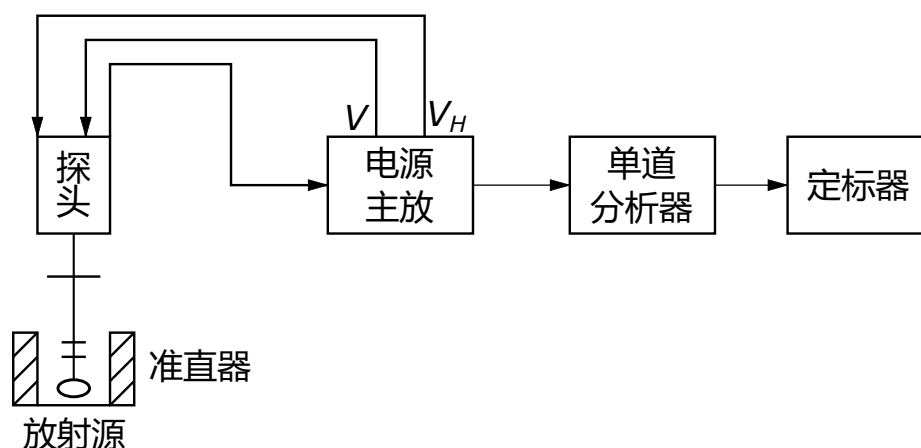


图 3: 测量装置

5 实验内容

1. 按图 (3) 检查测量装置，调整探测器位置，使放射源、准直孔、探测器具有同一条水平线上。
2. 打开系统电源，预热适当时间。
3. 选择合适的高压值，放大倍数，和计数时间并保持不变。
4. 测量不同吸收片厚度 x 时的计数 I_x 。
5. 取出放射源，在相同条件下，测量本底计数 I_b 。
6. 把高压降至最低值，关断电源。
7. 用最小二乘法求出 γ 吸收系数 μ 及半吸收厚度 $d_{\frac{1}{2}}$ 。

6 注意事项

测量前必须认真阅读 BH1224 微机多道 γ 谱仪使用说明书。

7 实验数据

7.1 数据

所用 ^{137}Cs 放射源编号: 26;

强度: $S = 66.6 \times 10^3 \text{Bq}$;

能量: $E_\gamma = 0.66 \text{MeV}$;

计数时间: 60s。

下列数据均为平均值。本底计数 $I_B = 3563$ 。

7.1.1 Pb 样品

编号	1	1+2	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5
厚度 x/mm	2.07	4.79	6.75	9.21	11.34
平均计数 $I_x/\text{次}$	6864	6208	5700	5235	4833
减去本底的计数 I_x/mm	3301	2645	2137	1672	1270

表 1: Pb 的实验数据

7.1.2 Cu 样品

编号	1	2	3	4	1+4
厚度 x/mm	10.08	14.56	20	24.2	34.42
平均计数 $I_x/\text{次}$	7774	5505	5075	4622	4038
减去本底的计数 I_x/mm	4211	1942	1512	1059	475

表 2: Cu 的实验数据

7.1.3 Al 样品

编号	1	2	3	4	1+4
厚度 x/mm	10.3	14.8	19.58	24.58	34.9
平均计数 $I_x/\text{次}$	7008	6922	6652	6448	5918
减去本底的计数 I_x/mm	3445	3359	3089	2885	2355

表 3: Al 的实验数据

7.2 处理

将表 (1)~(3) 中的厚度 x 作为横坐标, 减去本底的计数 I_x 的自然对数作为纵坐标, 画图, 并用最小二乘法进行线性拟合, 求出拟合系数, 如图 (4) 所示:

从图 (4) 中可以得出各样品的 γ 吸收系数和半吸收厚度 $d_{\frac{1}{2}}$, 罗列如下:

1. $\mu_{\text{Pb}} = 0.103 \text{mm}^{-1} = 1.03 \text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Pb}) = 6.74 \text{mm}$ 。

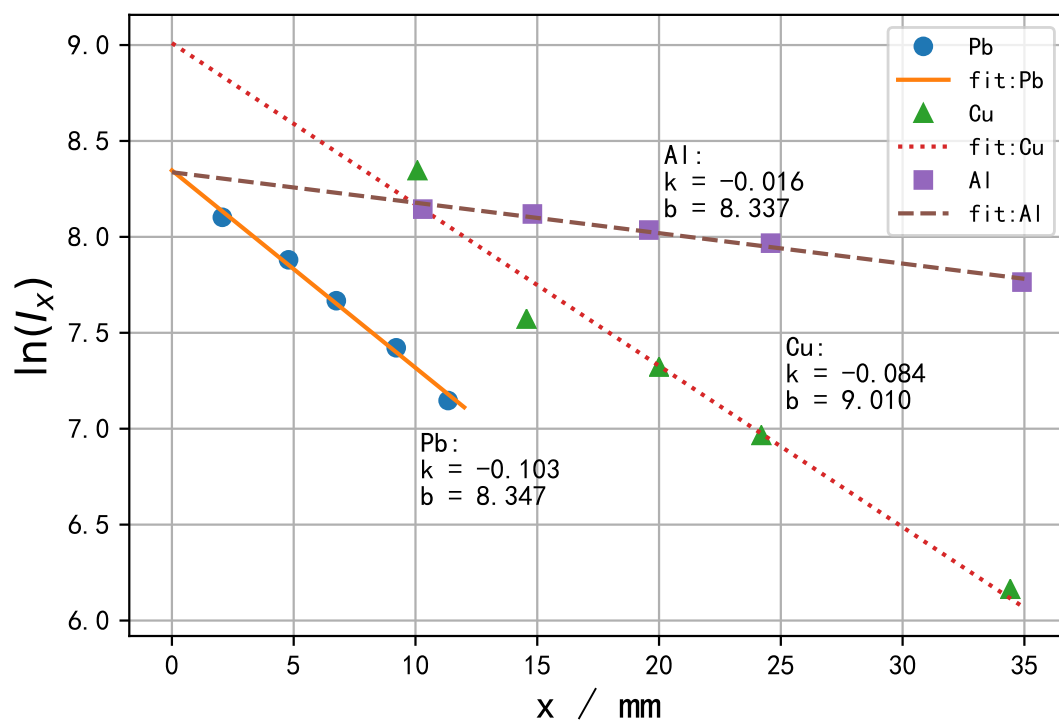


图 4: 数据及拟合曲线

2. $\mu_{\text{Cu}} = 0.084\text{mm}^{-1} = 0.84\text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Cu}) = 8.24\text{mm}$ 。

3. $\mu_{\text{Al}} = 0.016\text{mm}^{-1} = 0.16\text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Al}) = 43.67\text{mm}$ 。

作为参考, 查阅网络资料^[1]得知 3 种材料对 ^{137}Cs 的 660keV 的 γ 光子的吸收系数 (及计算得到的半吸收厚度) 的文献值分别为:

1. $\mu_{\text{Pb}} = 1.19\text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Pb}) = 5.82\text{mm}$ 。

2. $\mu_{\text{Cu}} = 0.94\text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Cu}) = 7.37\text{mm}$ 。

3. $\mu_{\text{Al}} = 0.28\text{cm}^{-1}$; $d_{\frac{1}{2}}(\text{Al}) = 24.76\text{mm}$ 。

8 误差分析

9 思考题

- 9.1 设铅的 $\mu = 1.0/\text{cm}$, 铝的 $\mu = 0.2/\text{cm}$, 为了使 γ 辐射强度将为原来的 $1/10$, 所需防护层厚度各为多少厘米?
- 9.2 待测的 γ 光子的能量与入射光子的能量是否相同? 为什么?
- 9.3 实验布置中, 为什么要把放射源、准直孔、探测器的中心保持在同一直线上?
- 9.4 何为半吸收厚度? 其值与哪些因素有关?
- 9.5 为何铜、铝的吸收系数测量结果误差较大?

参考文献

- [1] <http://pleclair.ua.edu/PH255/templates/formal/formal.pdf>.
- [2] 黄润生. 近代物理实验. 南京大学出版社, 2 edition, 2008.