

武汉大学物理科学与技术学院

物理实验报告

物理学院 物理专业 2024年 4月 20日

实验名称	康普顿散射					
姓 名	郑非凡	年 级	大三	学 号	202130202246	成 绩

实验报告内容:

- | | |
|-----------|-------------|
| 一、实验目的 | 五、数据表格 |
| 二、主要实验仪器 | 六、数据处理及结果表达 |
| 三、实验原理 | 七、实验结果分析 |
| 四、实验内容与步骤 | 八、习题 |

一、实验目的

- 1、学会康普顿散射效应的测量技术；
- 2、验证康普顿散射的 光子能量及微分截面与散射角的关系。

二、主要实验仪器

^{137}Cs , ^{60}Co 放射源, 台面主架, 导轨, 铅块, 散射用铝棒, 闪烁探测器和配套电子学插件

三、实验原理

康普顿效应是射线与物质相互作用的三种效应之一。康普顿效应是指入射光子与物质原子中的核外电子产生非弹性碰撞而被散射的过程。碰撞时, 入射光子把部分能量转移给电子, 使它脱离原子成反冲电子, 而散射光子的能量和运动方向发生变化。如图1所示, 其中 $h\nu$ 是入射 γ 光子的能量, $h\nu'$ 是散射 γ 光子的能量, θ 是散射光子的散射角, e 是反冲电子, ϕ 是反冲电子的反冲角。

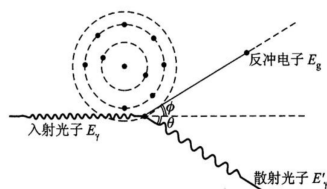


图1: 康普顿散射示意图

利用相对论性的动量守恒关系得到:

$$\left. \begin{aligned} m_0 c^2 + h\nu &= \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} + h\nu' \\ \frac{h\nu}{c} &= \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} \cos \phi \\ \frac{h\nu'}{c} \sin \theta &= \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \theta \end{aligned} \right\} \Rightarrow h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)}$$

这个式子给出了散射光子能量与散射角之间的关系, 利用此式可以计算康普顿散射的微分散射截面, 即一个能量为 $h\nu$ 的入射光子被散射到 θ 方向单位立体角的概率 $d\sigma(\theta)/d\Omega$ 。对于康普顿散射有下面的求解公式:

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = r_0^2 \left[\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right]^2 \left[\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right] \left[1 + \frac{\alpha^2 (1 - \cos \theta)^2}{(1 + \cos^2 \theta)[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]} \right]$$

本实验用NaI (Tl) 闪烁谱仪测量各散射角的散射光子能谱, 由光电峰峰位及光电峰面积得出散射光子能量, 并计算出微分散面的相对值: $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} / \frac{d\sigma(\theta_0)}{d\Omega}$, 根据晶体的探测性质有如下的散射截面公式:

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = \frac{N_p(\theta)}{R(\theta)\eta(\theta)4\pi N_0 N_e f}$$

上式的推导中利用了本实验下入射光子能量单一, 散射后的能量只和角度有关。实验中真正测量的实际上是相对截面, 测量的是 $N_p(\theta)$

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} / \frac{d\sigma(\theta_0)}{d\Omega} = \frac{N_p(\theta)}{R(\theta)\eta(\theta)} / \frac{N_p(\theta_0)}{R(\theta_0)\eta(\theta_0)}$$

得到测量数据后, 用内插法或作图法求出 $R(\theta), \eta(\theta), R(\theta_0), \eta(\theta_0)$, , 就可以求出微分散射截面的相对值。

四、实验内容与步骤

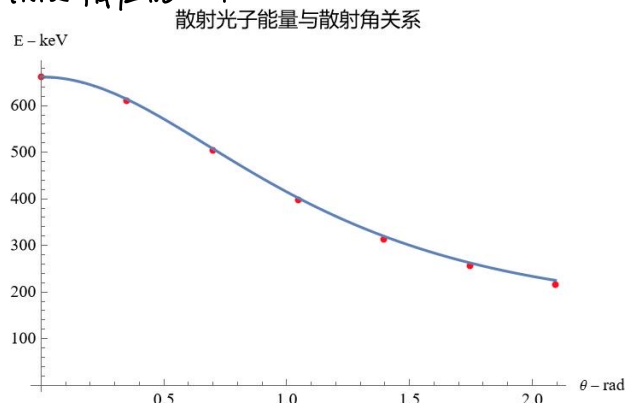
- 1、打开实验设备, 打开放射源准直孔并使探测器角度为 0° 。缓慢增加哦高压到500V, 并调整放大器增益, 直到 ^{137}Cs 放射源的全能峰处于2500道左右。
- 2、确定工作高压和放大器增益后, 清楚数据并重新测量 ^{137}Cs 能谱, 利用软件进行寻峰并标记道指对应能量为661. 6keV。
- 3、关闭放射源准直孔, 改变旋转探测器角度远离 0° 。
- 4、测量 ^{60}Co 放射源能谱, 直到两个全能峰清晰可见。寻峰并记录寻峰数据, 将两个道指改为1173. 2keV、1332. 5keV。
- 5、利用软件定好能量刻度。
- 6、放置铝棒, 分别移动旋转探测器角度到 20° 、 40° 、 60° 、 80° 、 100° 、 120° 。
- 7、测量能谱至少五分钟, 并记录数据。

五、数据表格

散射角度 (度)	0	20	40	60	80	100	120	0
能量测量值 (keV)	661.6	609.8	504.3	398.2	313.9	256.5	215.2	654.5
理论值 (keV)	661.6	613.7	507.8	401.6	319.6	262.6	224.9	
相对误差 (%)	0	0.64	0.69	0.85	1.8	2.32	4.29	
ROI 面积		8582	5987	4552	4542	4453	5109	28078
时间		300	300	300	300	310.9	300	
计数率 N_p (/s)		28.61	19.96	15.17	15.14	14.32	17.03	
η (10^{-4})		7.305	8.187	9.23	10.1	10.5	10.8	
R	0.393	0.419	0.488	0.591	0.702	0.791	0.859	
$N_p/(\eta * R)$		9.347	4.996	2.781	2.135	1.724	1.836	
相对散射截面		1	0.534	0.298	0.228	0.184	0.196	
相对散射截面理论值		1	0.599	0.339	0.227	0.188	0.179	
相对误差 (%)		0	12.02	14.07	0.795	1.928	8.872	

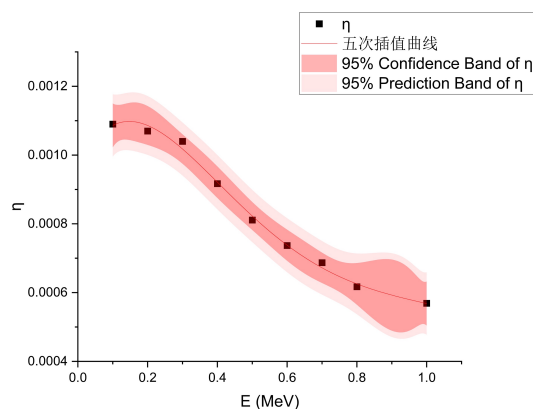
2. 数据处理及结果表达.

首先是对 E - θ 关系的讨论. 上面表格中计算了 测量曲线以及相应的相对误差. 可见相对误差都小于 5%.

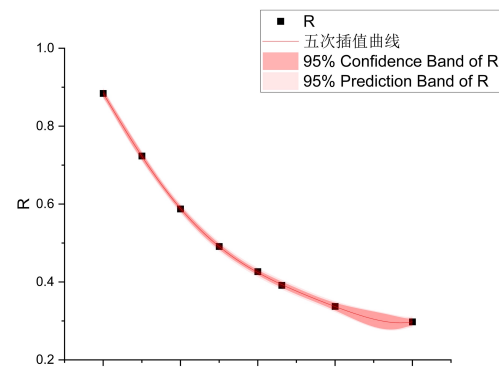


数据点基本都落在理论曲线上.

为了计算 $\frac{d\sigma}{d\Omega} / \frac{d\sigma_0}{d\Omega}$, 就要利用已知数据插值计算 $\eta(\theta(E))$ 和 $R(\alpha(E))$, 下图是利用五次曲线插值得到的插值曲线:



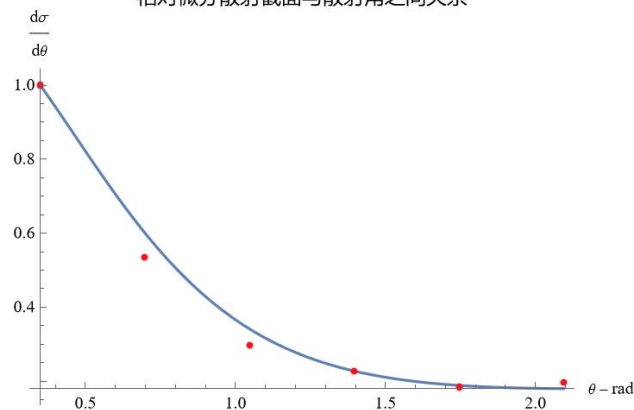
$$\begin{aligned} \eta(\theta(E)) &= 9.61738 \times 10^{-4} \\ &+ 0.0021 E - 0.00989 E^2 \\ &+ 0.0145 E^3 - 0.00876 E^4 \\ &+ 0.00201 E^5 \\ R^2 &\approx 0.99618. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} R(\theta(E)) &= 1.12538 - 0.19095 E \\ &- 855161 E^2 + 21.15405 E^3 \\ &- 20.20699 E^4 + 16.96786 E^5 \\ R^2 &\approx 0.99996 \end{aligned}$$

利用插值曲线计算 θ 对应 E 时的 η 和 R . 再利用 $N_p = \frac{R\sigma I}{T}$ 利用公式 $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{N_p}{R\eta}$ 即可计算出微分散射截面. 结果已表达于表中. 从下图也可看出数据点基本落在理论曲线上.

相对微分散射截面与散射角之间关系



教师评语

指导教师:

年 月 日

七. 实验结果分析

本次实验:测量值与理论值符合得较好,但个别数据点偏差还是较大.主要原因有二.

① R, η 是通过插值求得的,而用于插值的数据点并不多.故误差较大.

② 实验所用放射源的放射性已较弱.有限时间内采集数据较少.这是实验误差的主要来源.

本次实验还在前后两次 0° 时的 $E(0^\circ)$ 得到结果相差约 1%. 可见此时实验的结果是有效的.

八. 习题.

1. 误差主要来源于放射源的放射性较弱, 5 min 采集的数据不够多. 而且, 实验中使用有限采样 $\Delta\Omega = \frac{\Delta\Omega}{N}$ 代替 $d\Omega$. 为减少实验误差, 可以适当选取放射性更强的放射源并增大采样时间. 还可以减小探测器的面积, 增大放射源的探测器距离 R , 从而 $\Delta\Omega \rightarrow d\Omega$.
2. 主要原因是因为实验误差, $R(0)$ 与 $\eta(0)$ 都是通过插值得到的. 无法实验精确测量. 其次是在体角有限 $\Delta\Omega$ 中 $d\Omega$. 且采样时间较短. 环境噪声也大.

教师
评语

指导教师:

年 月 日

武汉大学物理实验数据记录单

学院: 物理 专业: 物理 姓名: 郑华/丁逸夫 学号: 202130202016/2018

实验名称: 康普顿散射

实验仪器台号: 02

	死时间	总计数	ROI面积	峰值	半高全宽
20°	0.109秒	27343	8582	609.766keV	77.2465keV
40°	0.077	19461	5987	504.285keV	80.0443keV
60°	0.056	14015	4552	398.209keV	67.8806keV
80°	0.045	11317	4542	313.897	63.5714
100°	0.042	10679	4413	256.492keV	48.8647
120°	0.041	10401	5109	215.232	42.7271
0°	0.331	82968	28078	654.455	59.5144

定标刻度信息

道址 能量(keV)
2039.98 601.6
4061.82 1332.5

指导教师:

201

年 4 月 16 日