

# 近代物理实验 设计性实验论文

论文题目: γ能谱上康普顿平台物理意义研究

指导老师: 唐吉玉 教授

学生姓名: 李宇杨

学 号: 20062301114

专 业: 物 理 学

实验时间: 2009年5月

# $\gamma$ 能谱上康普顿平台物理意义研究

指导老师： 唐吉玉

06 物理学一班 李宇杨 20062301114

## 摘要:

通过研究入射光子的能量对反冲电子的能量分布概率的影响,探究影响 $\gamma$ 能谱上康普顿平台的因素,从而在前人的研究上进一步研究康普顿平台对 $\gamma$ 能谱的物理意义。

**关键词:**  $\gamma$ 能谱 康普顿平台 物理意义 研究 反冲电子

## 正文:

### 1. 前人的研究

在前面的研究中,我们在 $\gamma$ 能谱上的康普顿平台的物理意义已经做了以下的研究:

- 1.1 康普顿平台上电子的反冲角与反冲动能之间的关系。<sup>[1][6]</sup>
- 1.2 建立物理模型,对探测电流进行计算,并通过实验进行验证。<sup>[1]</sup>
- 1.3 分析康普顿平台在物理理论上的贡献,肯定他为核辐射测量及核技术应用的发展的作用。<sup>[2][7]</sup>
- 1.4 使用反康普顿 $\gamma$ 谱仪的抑制谱和非抑制谱对样品中的核素及其活度进行了分析。<sup>[8]</sup>
- 1.5 阐述光电效应和康普顿效应的不同之处。<sup>[4][5]</sup>
- 1.6 重新解释康普顿散射中散射波波长大于入射波波长的原因。<sup>[3]</sup>
- 1.7 得出即使入射光子的能量变化很大,反散射光子的能量也是在200keV左右的结论。<sup>[6][11]</sup>

### 2. 我们的补充

对于入射光子的能量对反冲电子的能量分布概率的影响,我们并没有做出研究。那么反冲电子的能量分布除了和散射角有关系,和入射光子的能量的关系是怎样的呢?为了解决以上疑问,我们对入射光子的能量对反冲电子的能量分布概率的影响进行了研究,希望能对前人研究的 $\gamma$ 能谱上康普顿平台的物理意义进行补充,进一步完善康普顿平台对 $\gamma$ 能谱的物理意义的研究。

## 2. 1 实验原理:

本实验是在普通物理学范围内分析康普顿散射的能量关系。

按照光子理论,初态的入射光子交出其全部能量后消失,末态出现散射光子和反冲电子。而整个过程的能量和动量守恒。因反冲电子具有动能,末态的散射光子能量  $h\nu'$  必定小于初态的入射光子的动能  $h\nu$ , 而散射波波长  $\lambda'$  大于  $\lambda$  射波波长  $\lambda$ 。<sup>[1]</sup>

入射光子能量为  $E_\gamma = h\nu$ , 动量为  $h\nu/c$ , 碰撞后, 散射光子的能量为  $E_{\gamma'} = h\nu'$ , 动量为  $h\nu'/c$ , 反冲电子的动能为  $E_e$ , 总能量为  $E$ , 动量为  $P$ , 散射角为  $\theta$ , 反冲角为  $\phi$ , 它们之间的关系式:

$$h\nu = h\nu' + E_e \quad (1)$$

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos\theta + P \cos\phi \quad (2)$$

$$\frac{h\nu'}{c} \sin\theta = P \sin\phi \quad (3)$$

由以上 (1)、(2)、(3) 式联立得出:

$$E_\gamma E_{\gamma'} (1 - \cos\theta) = (E_\gamma - E_{\gamma'}) m_0 c^2 \quad (4)$$

忽略速度的误差, 采用相对论能量和动量关系:

$$E = \sqrt{m_0 c^4 + p^2 c^2} \quad (5)$$

联立以上 (1)、(2)、(3)、(4)、(5) 得出散射角与反冲电子动能的关系为:

$$E_e = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos\theta)}{m_0 c^2 + E_\gamma (1 - \cos\theta)} \quad (6)$$

而散射角  $\theta$  与反冲角  $\phi$  之间的关系是:

$$\text{ctg}\phi = \left(1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2}\right) \text{tg} \frac{\theta}{2} \quad (7)$$

结合以上 (7) 式, 则反冲电子的动能与反冲角的关系如下:

$$E_e = \frac{2E_\gamma^2 \cot^2 \theta}{m_0 c^2 + 2E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{m_0 c^2} + m_0 c^2 \cot^2 \theta + 2E_\gamma \cot^2 \theta}$$

发生康普顿效应时，散射光子可以向各个方向散射。对于不同方向的散射光子，其对应的反冲电子能量也不同。因而即使入射 $\gamma$ 光子的能量是单一的，反冲电子的能量却是随散射角连续变化的。反冲电子激发的信号在 $\gamma$ 能谱中形成了“康普顿平台”。利用NaI $\gamma$ 能谱仪进行 $^{137}\text{Cs}$ ， $^{60}\text{Co}$ 和 $^{22}\text{Na}$ 的能谱测量，可以得出对应道数的反冲电子计数率。

实验时通过上式就可以计算出每个角度对应的反冲电子动能，再根据能量刻度曲线找出每个能量对应的道址，最后就可以在 $\gamma$ 能谱上找到对应道址的计数率。计数率对应的为每个角度粒子的概率，对比不同的放射源的康普顿平台上每个角度所对应的发生的概率，得出实验结论。

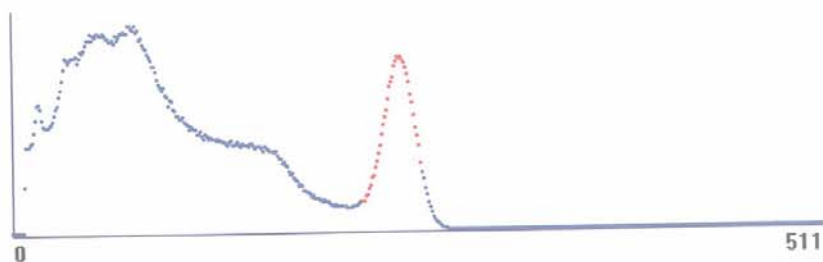
## 2. 2 实验步骤:

2. 2. 1. 测量已知标准源的 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{60}\text{Co}$ 两种 $\gamma$ 放射源的能谱。
2. 2. 2. 找出全能峰所对应的道址。
2. 2. 3. 根据已知的能量对其进行定标，画出能量刻度曲线。
2. 2. 4. 测量 $^{22}\text{Na}$ 放射源的能谱。
2. 2. 5. 根据以上推导公式，计算出每个放射源的每个反射角对应的反冲电子动能，在能量刻度曲线上找出相对应的道址。
2. 2. 6. 利用这个道址，在 $\gamma$ 能谱上找到相应的计数率。
2. 2. 7. 对比三种放射源的能谱上康普顿平台的每个反射角度对应的计数率，分析入射光子的能量对反冲电子的能量分布概率产生的影响。

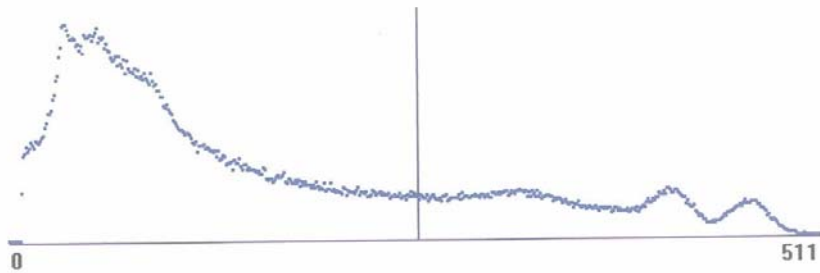
## 2. 3 实验数据及分析:

2. 3. 1. 测量已知标准源的 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{60}\text{Co}$ 两种 $\gamma$ 放射源的能谱，能谱如下:

### 1. $^{137}\text{Cs}$ $\gamma$ 放射源的能谱:



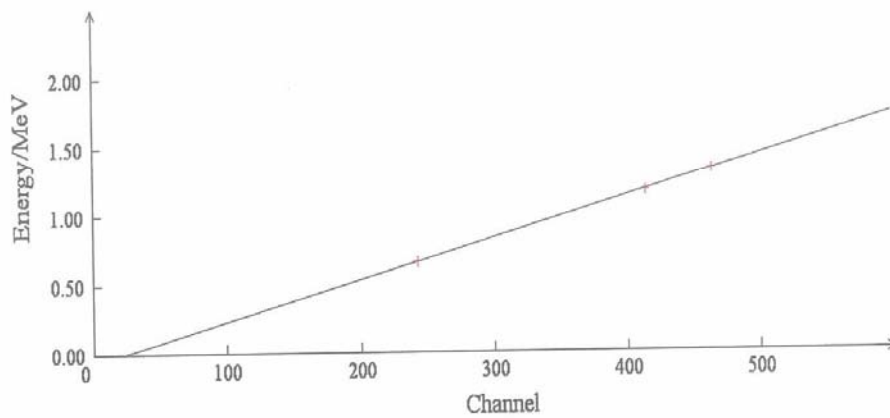
### 2. $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ 放射源的能谱:



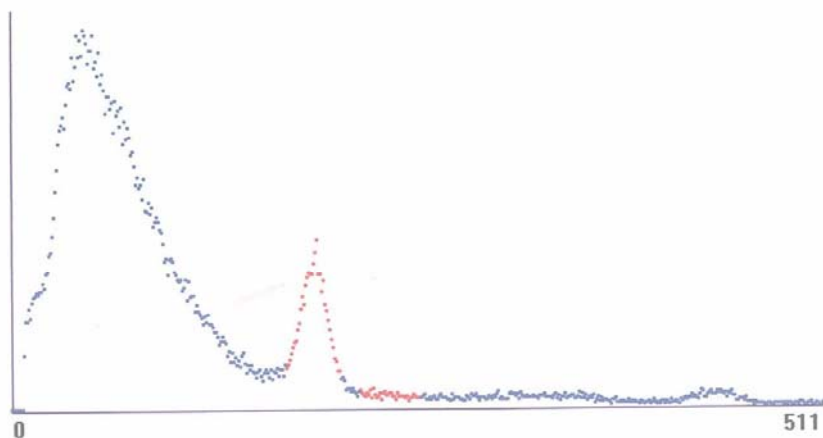
找出全能峰的道址，对应已知的能量，数据如下：

	1	2	3
$E_{\gamma}$ (MeV)	1.17	1.33	0.661
道址	416	466	244

利用以上数据对其进行定标，得出能量刻度曲线如下：



2.3.2. 测量<sup>22</sup>Na放射源的 $\gamma$ 能谱。能谱曲线如下：



找出 $^{22}\text{Na}$ 全能峰位置及能量为:

$E_\gamma$ (MeV)	1.20
道址	396

2.3.3. 取反射角从0—90度, 每隔10度计算一个对应的反冲电子动能, 在能量定标曲线寻找出每个能量对应的道址, 再在相应的 $\gamma$ 能谱找出道址对应的计数, 实验数据如下: (其中电子质量 $m_0=9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ )

1.  $^{137}\text{Cs}$ 放射源对应的实验数据:

$\theta / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$n$	310	579	726	809	1200	1707	2022	2058	1684	1324

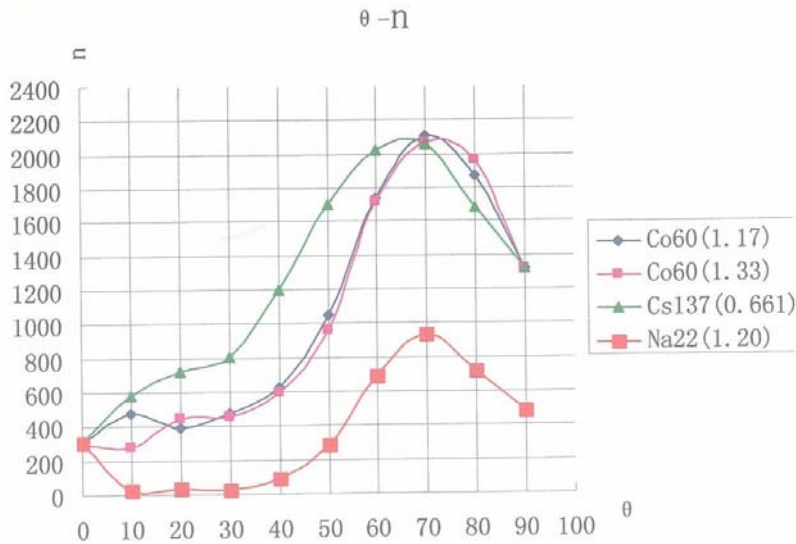
2.  $^{60}\text{Co}$ 放射源对应的实验数据:

$^{60}\text{Co}$	$\theta / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
(1.17)	$n$	310	476	398	481	628	1048	1742	2112	1872	1324
$^{60}\text{Co}$	$\theta / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
(1.33)	$n$	301	278	448	464	601	961	1724	2074	1972	1324

3.  $^{22}\text{Na}$ 放射源对应的实验数据:

$\theta / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$n$	310	25	33	27	95	288	690	933	724	488

根据以上数据画表格，如下：



### 五. 实验结论:

1. 由于公  $E = \sqrt{m_0 c^4 + p^2 c^2}$  式只适用于相对论范畴，而在相对论范畴里面，要求能量  $E$  须大于  $2MeV$ ，而我们实验器材中的放射源的放射出的光子能量都小于  $2MeV$ ，所以在得出的结果存在误差比较大。
2. 从图  $\theta - n$  及  $^{22}Na$  放射源对应的实验数据分析出， $^{22}Na$  曲线出现明显不同，分析可能原因：计数  $n$  偏小，导致相对误差  $E_n = \frac{1}{\sqrt{n}}$  偏大，影响了测量的结果。
3. 从图  $\theta - n$  中  $^{60}Co$ 、 $^{137}Cs$  的三条曲线及  $^{60}Co$ 、 $^{137}Cs$  放射源对应的实验数据中，
  - (1)  $\theta$  等于  $70^\circ$ ，入射角度的计数不随光子能量的变化而变化，粒子分布概率不变；
  - (2)  $\theta$  小于  $70^\circ$ ，入射角度的计数不随光子能量的变小而变大，粒子分布概率变大；
  - (3)  $\theta$  大于  $70^\circ$ ，入射角度的计数不随光子能量的变大而变小，粒子分布概率变小；
  - (4)  $\theta$  等于  $0$  和  $90^\circ$ ，反冲电子能量都一样，所以得出的粒子分布概率一样；

以上是我们的实验结果,由于实验室条件的限制,我们只有三种 $\gamma$ 放射源供我们测量,实验数据不是很充足。且我们的知识水平有限,对数据的处理等等还不是很充分,在这两种情况下,我们得出的实验结论极有可能出现纰漏或错误,如有错误,敬请大家指正。

在实验过程中,由于自身知识水平的限制,我们遇到很多的挫折和困惑,幸好有唐吉玉教授耐心的指导我们,鼓励我们,带着我们走出困惑,最终获得实验的结果,在此,我们对唐老师表示诚挚的谢意。

#### 参考文献:

- 【1】. 柳晓旭 陈文娟 《 $\gamma$ 射线康普顿反散射成像研究》  
核电子学与探测技术 2003年1月 第23卷 第一期
- 【2】. 黄 铭, 程敏照, 曾柳芳 《 $\gamma$ 能谱康普顿平台的反冲电子密度分布研究》实验技术与管理 2008年11月 第25卷 第11期
- 【3】. 冯培成 《关于康普顿散射中 $\lambda' > \lambda$  的原因的讨论》  
湖南科技学院学报 2005年5月 第26卷 第5期
- 【4】. 刘 敏, 张立萍 《光电效应和康普顿效应中的光子和电子的相互作用》  
唐山学院学报 2005年09月 第18卷 第3期
- 【5】. 刘彦安 《光电效应与康普顿效应的异同》  
甘肃科技 2008年12月 第24卷 第23期
- 【6】. 王合英 孙文博 陈宜保 《用X射线衍射仪测量康普顿散射的波长改变》  
大学物理 2007年 第6期
- 【7】. 郑碧华 , 熊正焯 《在 $\gamma$ 能谱测量中验证康普顿效应》  
中山大学学报自然科学版 2003年6月 第42卷 增刊
- 【8】. 樊元庆, 王 军, 王世联, 李 奇, 张新军  
《反康普顿 $\gamma$ 谱仪在CTBT滤材样品国际比对中的应用》  
核电子学与探测技术 2008年 5月 第28卷 第3期
- 【9】. 周春林, 徐振华, 韩 峰, 徐从学  
《一套低本底反康普顿HPGe $\gamma$ 谱仪系统积分本底的实验研究》  
核电子学与探测技术 2008年 3月 第28卷 第2期
- 【10】. 张佳媚, 常永福, 师全林, 王中录, 钱绍钧  
《一台反康普顿HPGe C谱仪的性能改造和应用》  
核电子学与探测技术 2004年 3月 第24卷 第2期