

# 正电子偶素三光子衰变的光子角分布

杨保忠 谭勇 唐孝威 卞祖和

(中国科学技术大学,合肥)

## 摘 要

用  $^{22}\text{Na}$  和气凝硅胶构成的电子偶素源及三重符合的 NaI(Tl) 计数器, 测量了正电子偶素三光子衰变. 在末态两个光子对第三光子的夹角为对称的几何条件下, 测量了大角度区域的光子角分布. 连同已有的小角度区域测量数据, 给出了完整的光子角分布曲线. 实验曲线与理论预期值符合得很好.

正电子偶素(即三重态电子偶素)的三光子衰变, 是单纯的轻子光子相互作用过程<sup>[1]</sup>. 动量守恒要求末态三个光子是共面的. 理论给出, 在末态三光子平面中, 当两个光子对于第三光子的夹角为对称(都等于  $\alpha$ )的几何条件下(见图 1(a)), 末态光子角分布公式为

$$P(x) = \frac{[2(1-x)^2 + 1]x}{2(1+x)}, \quad (1)$$

其中  $x = \cos\alpha$ . 角度  $\alpha$  的最大值为  $90^\circ$ . 根据式(1), 当  $\alpha$  小于  $60^\circ$  时,  $P(x)$  值大致恒定; 当  $\alpha$  在  $60^\circ$  至  $90^\circ$  间,  $P(x)$  值急剧下降; 到  $\alpha = 90^\circ$  时,  $P(x)$  值为零.

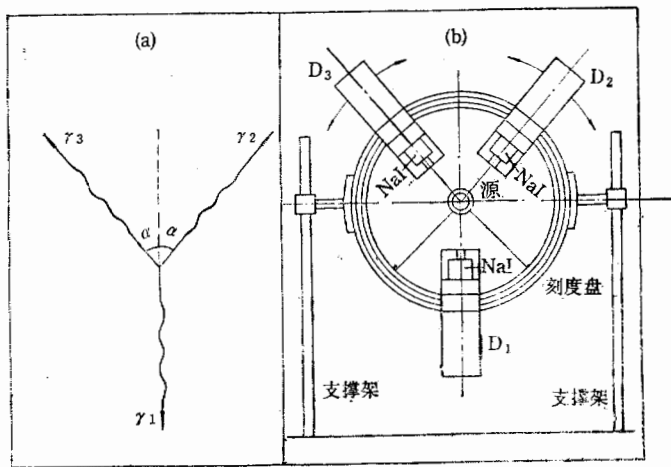


图 1

(a) 末态三个光子 (b) 实验装置示意图

在工作[2]中首次测量了光子角分布曲线,但实验数据主要是在 $\alpha$ 小于 $60^\circ$ 的区域,为了得到完整的光子角分布的实验曲线,我们在工作[2]的基础上,进一步改善了实验条件,包括增加放射源的强度和改进探测器的屏蔽,进行了角度 $\alpha$ 在 $60^\circ$ 至 $90^\circ$ 间的大角度区域的测量。因为大角度区域角分布曲线下落很快,选择其间的 $\alpha = 60^\circ, 75^\circ, 85^\circ$ 进行测量。本文报导测量的结果,并连同已有的小角度区域测量数据一起,与理论预期值进行比较。

图1(b)表示由刻度盘、支撑架和源托等组成的一个垂直于地面的实验装置示意图。刻度盘的内直径为50cm,外直径为58cm,角度准确度为 $0.5^\circ$ 。用 $^{22}\text{Na}$ 放射源和气凝硅胶构成电子偶素源,置于刻度盘中心的源托上。将源强为 $80\mu\text{Ci}$ 的 $^{22}\text{NaCl}$ 溶液滴在聚酯薄膜上,源直径为8mm,夹在两块气凝硅胶中间。为减少氧气对正电子偶素的猝灭,实验时将电子偶素源置于氮气之中。

用三个结构相同的NaI(Tl)计数器 $D_1$ 、 $D_2$ 和 $D_3$ 测量光子角分布。其中 $D_1$ 是固定的, $D_2$ 和 $D_3$ 可以绕圆心转动,对由计数器 $D_1$ 和电子偶素源所确定的轴线对称安放,它们与轴线的夹角均为 $\alpha$ 。计数器中NaI(Tl)晶体的尺寸均为 $\phi 30\text{mm} \times 50\text{mm}$ 。NaI(Tl)计数器对能量为344keV $\gamma$ 射线的能量分辨率为12%。在NaI晶体周围加厚度1cm的筒形铅屏蔽体,在它的顶部安放厚度2.5cm的铅屏蔽块,其中开有 $30\text{mm} \times 9\text{mm}$ 的矩形准直孔,由它决定的角度展宽 $\Delta\alpha = 3.4^\circ$ 。

实验中采取 $D_1$ 、 $D_2$ 和 $D_3$ 三重快符合,并同时计数器 $D_1$ 进行能量选择的方法选取三光子事例。将计数器 $D_1$ 、 $D_2$ 和 $D_3$ 的输出信号送入各自的定时甄别器和成形电路,再输入到快符合电路。快符合电路的分辨时间为10ns。计数器 $D_1$ 的线性输出信号由有一定能窗的单道分析器分析。在不同角度测量时,要相应地调节单道分析器的能窗,由它选出所需能量范围的脉冲,再与三重快符合的输出信号进行符合。慢符合电路的分辨时间为 $1\mu\text{s}$ 。

因为在测量角分布时,计数器接收光子的能量随着角度 $\alpha$ 改变,而计数器的探测效率又随着光子能量改变,所以必须对每个计数器进行效率刻度。我们用已知强度的放射源 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{54}\text{Mn}$ ,对每个计数器作了能量线性刻度和效率刻度。

实验中除由不同角度的符合计数得到角分布外,还将三重快符合信号输入到门脉冲产生器,用门脉冲开启多道分析器,并由多道分析器记录计数器 $D_1$ 输出脉冲的能谱,来进行监测。测量表明,

用单道分析器参与快慢符合的计数,和用快符合信号开门测得的多道谱的计数,在误差范围内是一致的。在测量本底时,将计数器 $D_2$ 移出三光子衰变平面约 $60^\circ$ ,使三个计数器及电子偶素源不共面。这时测量的符合计数即为本底计数。

在测量了不同角度的符合计数后,先扣除本底,再进行效率和几何的修正。对 $\alpha =$

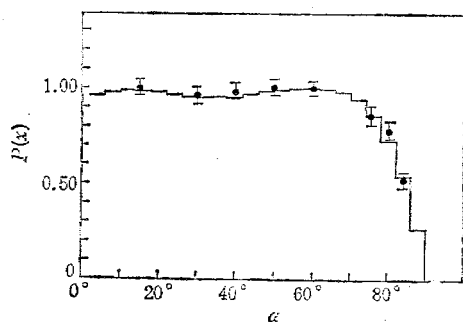


图2 三光子角分布曲线

60° 时的符合计数进行归一, 求出相对值  $P_{\text{exp}}$ . 得到:  $\alpha = 75^\circ$  时,  $P_{\text{exp}} = 0.86 \pm 0.05$ ;  $\alpha = 85^\circ$  时,  $P_{\text{exp}} = 0.52 \pm 0.04$ . 实验误差来源于各个计数器效率曲线的误差及计数的统计误差.

用角分布的理论公式, 对实际几何条件(实验中电子偶素源为非点源)进行了蒙特卡罗模拟. 对  $\alpha = 60^\circ$  值归一而得到  $P_{\text{M.C.}}$  值. 以上测量结果连同已有的小角度测量数据<sup>[2]</sup>给出了完整的角分布曲线, 见图 2. 两次实验都归一到  $\alpha = 60^\circ$  值. 图中圆点是实验值, 直方图是蒙特卡罗计算值.

小角度和大角度区域测量的结果表明, 正电子偶素三光子衰变的光子角分布和理论预期值符合.

感谢曾宁、朱强等同志的帮助.

### 参 考 文 献

- [1] A. I. Akhiezer and V. B. Berestetskii, *Quantum Electrodynamics*, Oak Ridge, 1957.  
[2] You Ke, Tang Xiaowei, Yang Baozhong, Li Yaoping, *Chinese Phys. Lett.*, 3(1986), 345.

## THE ANGULAR DISTRIBUTION OF PHOTONS IN ORTHOPOSITRONIUM THREE PHOTON DECAY

YANG BAOZHONG TAN YONG TANG XIAOWEI BIAN ZUHE

(University of Science and Technology of China, Hefei)

### ABSTRACT

The three photon decay of positronium was further studied using positronium source composed of  $^{22}\text{Na}$  and silica aerogel and triple fast coincidence method. We measured the angular distribution of the photons in the large angle region under symmetrical geometry with respect to the third photon. The whole curve of the angular distribution of photons was given combining with the data in the small angle region which was published before. The results were in good agreement with theoretical predicted values.