

用联合谱仪方法观察 3S_1 态电子偶素 在气凝硅胶中的湮没

张天保 王蕴玉 张长春

(中国科学院高能物理研究所)

王少阶

(武汉大学)

摘 要

用具有时间选择功能的 Ge 能谱仪(即联合谱仪)观察了气凝硅胶中 3S_1 电子偶素 ($o-P_s$) 的产额和湮没辐射的能谱, 认为电子偶素在气凝硅胶超细微粒中的产生和湮没基本上符合扩散模型, 但微粒表面的作用也不可忽略; 比较正电子在微粒中的自由湮没和长寿命 $o-P_s$ 的曳离 (pick-off) 所产生的多普勒加宽谱, 表明后一过程具有较低的湮没动量。

一、引 言

电子偶素 (Positronium) 在超细 SiO_2 粉末中的产生和湮没一直是受人们注意的研究课题^[1-4]。Brandt 和 Paulin^[5] 根据实验事实提出了电子偶素在氧化物粉末中的扩散模型, 认为电子偶素是在粉末的微粒内部产生的。 1S_0 态电子偶素 ($p-P_s$) 因寿命很短, 在微粒内部湮没放出 2γ 射线。 3S_1 态电子偶素 ($o-P_s$) 在向微粒外部扩散过程中, 一部份同材料分子作用, 发生曳离 (pick-off) 过程, 产生较短成份 τ_2 (约 2ns) 的 2γ 湮没, 扩散到微粒外部自由空间的 3S_1 电子偶素产生长寿命 τ_3 分量。在真空条件下, τ_3 趋向 $o-P_s$ 的本征寿命 $\tau_{30} = 1.4 \times 10^{-7}$ sec。Chuang 和 Tao^[3] 指出, 在胶状 SiO_2 表面存在活性基, 它对电子偶素的形成和湮没也是起作用的, 在常温以下, 表面的曳离 pick-off 过程比化学猝灭过程更重要。

具有时间选择的 Ge 能谱仪是把正电子湮没寿命谱和多普勒加宽谱测量结合起来的一种联合谱仪, 它可以研究湮没寿命和能谱形状的关联, 获得对湮没过程更直观的和比较定量的了解。我们建立了此种装置, 对 $o-P_s$ 在气凝硅胶中的湮没进行了观察。

二、实验装置

样品: 用作契伦柯夫辐射体的气凝硅胶样品, 比重为 0.25 g/cm^3 。正电子源采用 $5\mu\text{C}$

本文 1982 年 4 月 7 日收到。

的 ^{24}Na .

装置: 联合谱仪装置的方框图见图 1. D_1 是触发(起始时间)探测器. 在观察短寿命成份时 D_1 采用阱式塑料闪烁体 ST401($\phi 50 \times 100$), 探测 1.28 MeV γ 射线, 产生 2γ 事例

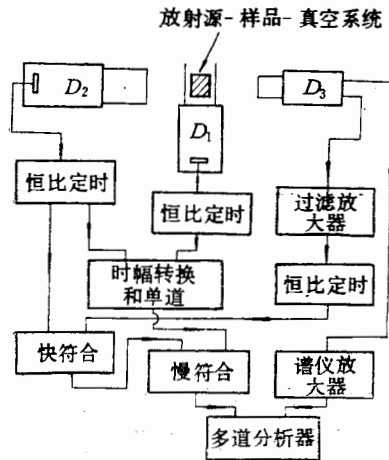


图 1 正电子湮没联合谱仪方框图

的起始信号; 在观察长寿命成份时 D_1 用厚 60μ 的薄膜塑料闪烁计数器, 探测正电子 β^+ , 给出事例的触发信号. 探测器连同放射源、样品和真空系统直接耦合在 XP2020 光电倍增管上. D_2 是闪烁计数器, 在观察短寿命成份时 D_2 采用 $\phi 45 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ 塑料闪烁计数器, 观察长寿命成份时采用 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ NaI(Tl). D_1 和 D_2 构成时间测量通道. 系统的时间分辨率为 $\text{FWHM} = 0.6 \text{ ns}$ (γ - γ 符合, ^{60}Co) 和 $\text{FWHM} = 1.1 \text{ ns}$ (β^+ - γ 符合, ^{198}Au). D_3 是平面型高纯锗 ($\phi 25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$) 探测器, 对 514 keV γ 射线 (^{85}Sr) 能量分辨率 $\text{FWHM} = 1.05 \text{ keV}$. D_2 和 D_3 之间快符合(以便降低长成份测量时的本底)的分辨时间为 15ns. 改变单道分析器的上下阈可以观察寿命谱的任何谱段的湮没辐射 ($2\gamma, 3\gamma$) 相对强度和能谱形状. 装置对感兴趣的寿命成份(例如 τ_3) 的 0.511 MeV γ 的光峰计数率约 1 个/秒.

三、结果和讨论

我们分别测量了在真空和大气条件下气凝硅胶的正电子湮没寿命谱, 得到三个寿命成份: 最短寿命 τ_1 为 0.5ns 的成份, 它是自由湮没和 p - P_1 湮没的混合, 是 2γ 湮没; $\tau_2 = 2\text{ ns}$ 成份也是 2γ 湮没; 长寿命 τ_3 (71 ns; 125 ns) 成份是 o - P_1 扩散出微粒之后的湮没贡献, 它包括 2γ 和 3γ 湮没两种能谱. 此外, 我们观察了氮气条件下的 τ_3 成份, 表明它和真空条件下的结果是十分接近的. 各种条件下寿命成份及它们的相对强度列于表 1. 选择 τ_3 成份中 2γ 湮没的 γ 峰 (0.511 MeV) 进行观测. 在大气情况下, 从所得谱形可看出有一个窄峰叠在一个宽峰上, 这两个峰的相对量也列于表 1 中. 在真空和氮气条件下窄峰成份消失(见图 2). 选取 τ_1 中接近于自由湮没寿命段测 0.511 MeV 能峰形状, 与 τ_3 成份中较宽峰相比较, 表明前者是一个更宽的多普勒加宽谱, 见图 3.

(1) 由表 1 所列数据看出: 在真空和大气中 τ_2 成份的强度 I_2 无明显变化, 这表明它

表 1 在大气、氮气和真空条件下测得正电子在气凝硅胶中各种湮没成份的寿命 τ_i 和相对强度 I_i

气体	I_1 (%)	τ_1 (ns)	I_2 (%)	τ_2 (ns)	I_3 (%)			τ_3 (ns)	$I_2 + I_3$ (%)
					2γ (宽)	2γ (窄)	3γ		
大气	73.4	0.49	8.0	2.1	~2	5.8	10.8	71 ± 2	26.6
真空	69.4	0.54	8.0	2.6	~2	0	21.1	125 ± 4	30.6
氮气	—	—	—	—	~2	0	20	121 ± 4	—

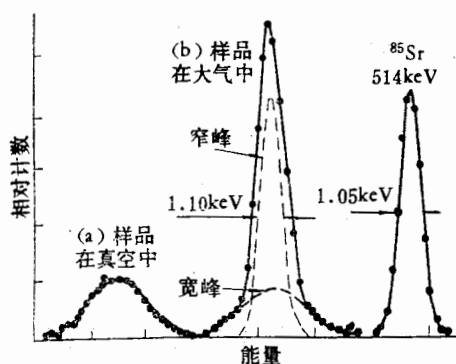
的存
程所
平均
的电

可以
制.
解释

FWI
接近
有关
另一
粒表

命 1
使 τ
份及

off)
过程
来求
一个
程故

图 2 τ_3 中 2γ 组份的多普勒加宽谱

- (a) 样品在真空中, 宽峰
(b) 样品在大气中, 可分解为窄峰和宽峰

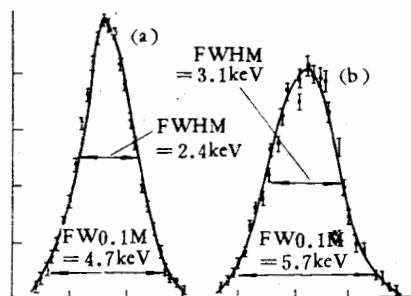


图 3

- (a) τ_3 中曳离 pick-off 过程多普勒加宽谱
(b) τ_1 中自由 e^+ 湮没的多普勒加宽谱

的存在与微粒外部环境无关, 可以把它理解为 $o-P_i$ 在 SiO_2 微粒内部的曳离 (pick-off) 过程所致. 根据 Brandt^[5] 的扩散公式, 我们估算出本实验使用的气凝硅胶材料中 SiO_2 微粒平均半径约 45 \AA . 采用这种超细微粒有利于 $o-P_i$ 的逸出. 采用此种材料能够制成很好的电子偶素源.

(2) $I_2 + I_3$ 代表 $o-P_i$ 的总产额. 真空条件下比大气条件下 $o-P_i$ 产额增加 16%. 这可以解释为微粒表面对电子偶素的形成作了某种贡献, 在大气条件下此种贡献受到了抑制. 超细微粒具有大的比表面以及气凝硅胶微粒表面可能存在活性基的作用是支持这一解释的.

(3) 大气条件下, τ_3 中 2γ 的能峰可分解出两种组份能谱, 窄成份的能峰宽度 $FWHM = 1.10 \text{ keV}$, 与 ^{85}Sr 的 514 keV 单能 γ 峰宽度 $FWHM = 1.05 \text{ keV}$ 相比较, 表明它是接近于单能的湮没辐射. 在真空和氮气条件下, 窄成份消失, 表明窄成份的出现只与氧气有关, 是由氧对 $o-P_i$ 的自旋转换作用而来, 此种作用是使 $o-P_i$ 转为 $p-P_i$, 简称 $O-P$ 转换. 另一种组份具有较宽的峰分布, 可以解释为由 $o-P_i$ 与微粒表面的作用或者是 $o-P_i$ 贯穿微粒表面势垒重新回到微粒内部而发生曳离 (pick-off) 过程所致.

(4) 还可注意到, 在 τ_3 中出现任何 2γ 成份, 都使湮没速率加快, 使 τ_3 比 $o-P_i$ 本征寿命 140 ns 变短. 只占大气 1/5 的氧的存在使 3γ 成份显著变少而出现大量 2γ (窄) 成份, 使 τ_3 变短许多, 说明氧对 $o-P_i$ 的自旋转换作用是强烈的. 进一步研究氧的浓度与 2γ 成份及 τ_3 之间的变化关系是很有意义的.

(5) 选择自由湮没寿命谱区作 2γ 能峰测量, 在扣除偶然符合本底之后, 同曳离 (pick-off) 过程相比, 发现是一个更宽的峰 (见图 3). 这一事实表明自由湮没与曳离 (pick-off) 过程相比具有更大的湮没动量. 这可能是由于参与曳离 (pick-off) 过程的电子在置换原来束缚在 $o-P_i$ 中的电子时需要支付结合能 (6.8 eV), 因而减少了湮没体系的动量所致. 另一个可能的解释是, 与自由 e^+ 相比较, $o-P_i$ 与物质分子的内层电子发生曳离 (pick-off) 过程的几率很小, 因而湮没体系动量减少.

寿命
事例
的薄
的触
直接
数器,
im 塑
 1×50
系统的
(o) 和
型高
射线
 D_3 之
辨时
寿命
份(例

寿命
 $= 2 \text{ ns}$
状, 它
真空条
 τ_3 成
一个窄
成份消
较宽

表明它

E_1

$+ I_3$
(%)

16.6

10.6

参 考 文 献

- [1] R. Paulin and G. Ambrosino, *J. Phys.*, Paris., 29(1968), 263.
 [2] M. Debswsha, J. Kukulka and J. Wesolowski, *Acta Physica Polonica* VA48-N4(1975), 538.
 [3] S. Y. Chuang and S. J. Tao, *Canadian J. Phys.*, 51(1973), 820.
 [4] D. W. Gidley, K. A. Marko and A. Rich, *Phys. Rev. Lett.*, 36(1976), 395.
 [5] W. Brandt and R. Paulin, *Phys. Rev. Lett.*, 21(1968), 193.

THE OBSERVATION ON o - P_s ANNIHILATION IN SILICA AEROGEL BY COMBINED SPECTROMETER

ZHANG TIAN-BAO WANG YUNG-YU ZHANG CHANG-CHUN

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

WANG SHAO-JIE

(*Wuhan University*)

ABSTRACT

The yields and energy spectra of the various components of o - P_s annihilation in silica aerogel are observed using the combined spectrometer. It is shown that the processes of P_s formation and annihilation in ultrafine grains of SiO_2 aerogel are basically consistent with the diffusion model, but the grain surface effect can not be neglected. Comparing the Dopplar broadening spectra, it is understood that the pick-off process of the longest component possesses the lower annihilation momentum than that of the free positron annihilation.

带

达
子
截

确
子分布
介子束
据^[3]. 基
于量
前研究
在
子分布
言^[1], (是, 除
有限运
数的行
在
函数作
求得在
们丢失
在
子分布
一个系
的解析