

# 固体 $\beta$ 射线探测器及其应用\*

袁双贵

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 我们建立了两台不同类型的固体  $\beta$  射线望远镜系统,并成功地用于实验.本文以这两个望远镜系统为例,阐述了固体  $\beta$  射线探测器的特点,及其在核物理实验研究中所起的重要作用.

**关键词** 半导体, 闪烁体,  $\beta$  谱, 探测器.

## 1 引言

概括起来, $\beta$  射线探测器大体可分为三大类:气体  $\beta$  射线探测器、磁谱仪和固体  $\beta$  射线探测器.气体  $\beta$  射线探测器因气体的阻止本领很低,使其灵敏层厚度很难适应较高能量  $\beta$  能谱的测量,且其操作也不甚方便.磁谱仪有很好的能量分辨,主要用来记录内转换电子或具有高精度要求的  $\beta$  射线,但因其探测效率太低,用它来实现  $\beta$  能谱测量,特别对放射性活度不大的源,是相当困难甚至不可能的<sup>[1]</sup>.其造价也相当昂贵.固体  $\beta$  射线探测器可弥补上述两类探测器的不足,能很好地满足一般的  $\beta$  射线能谱或计数的测量工作.因此,它得到了迅速的发展和广泛的应用.固体  $\beta$  射线探测器又分半导体型和闪烁型两种.

## 2 半导体 $\beta$ 射线探测器及其应用

半导体  $\beta$  射线探测器的基本工作原理是,入射电子在半导体物质中损失能量而产生电子-空穴对,这些电子-空穴对的产生数目正比于电子在该物质中损失的能量.通常采用的半导体材料是硅或锗.

硅对电子的响应函数非常简单,能量小于5MeV的电子在其中所产生的脉冲高度分布,由一个相应于电子能量的很窄的主峰和一个完全独立于电子能量的低能尾巴组成,

且其峰面积与总面积之比也独立于电子能量<sup>[2,3]</sup>,能量分辨也相当好.但由于它的  $Z$  值(原子的电荷数)较低,且灵敏层厚度不能太大,因而只适用于探测低能  $\beta$  射线.

用锗作为  $\beta$  探测器的材料,不仅可克服硅材料的缺点,而且还有其它优点.除具有可与硅相比拟的能量分辨,由于它的  $Z$  值较高,对电子的阻止本领较强,所以可很容易地满足高能  $\beta$  射线探测的要求;它对  $\beta$  和  $\gamma$  具有相同的灵敏度,这使我们可很方便地利用  $\gamma$  源对该探测器进行能量刻度<sup>[4,5]</sup>.当然,也正因为它具有较高的  $Z$  值,电子对它的背散射和韧致辐射都比较强,使得响应函数较复杂,但只要测出了响应函数,问题便可得以解决.

我们建立了一套半导体  $\beta$  射线望远镜系统.它由厚度为0.3mm、灵敏面积200mm<sup>2</sup>的Si(Au) $\Delta E$ 探测器和厚度为15mm、灵敏面积500mm<sup>2</sup>的HPGe  $E$ 探测器组成,窗为0.25mm厚的铝箔. $E$ 探测器可满足高达20MeV能区内的  $\beta$  射线能谱测量, $\Delta E$ 探测器是为过滤  $\gamma$  本底而设置的,因  $\gamma$  射线穿过它时,基本不产生脉冲讯号,而  $\beta(e)$  穿过时,则会有一定的输出脉冲.这样,可通过  $\Delta E$ - $E$  符合测量很容易地消除  $\gamma$  射线在  $E$  探测器中造成的影响.该系统能量分辨为20keV.

利用该探测系统,完成了<sup>235</sup>Th的  $\beta$  端点能量测量的实验<sup>[6]</sup>.结果表明,用该系统可获

\* 国家自然科学基金资助课题  
本文1993年8月25日收到.

得很好的β谱,从而获得较精确的β端点能量.图1给出了<sup>235</sup>Th和其子体<sup>235</sup>Pa的β谱.从它们的Fermi-Curie标绘,定出了<sup>235</sup>Th和<sup>235</sup>Pa的β端点能量分别为 $1.44 \pm 0.04 \text{ MeV}$ 和 $1.42 \pm 0.04 \text{ MeV}$ .其中,<sup>235</sup>Pa的β端点能量与已知值只差0.01MeV.最后得到了<sup>235</sup>Th的 $Q_{\beta}$ 值为 $1.47 \pm 0.07 \text{ MeV}$ .

对其响应函数比较简单,由一个呈高斯分布的主峰和一个平坦的几乎与能量无关的低能尾巴所构成<sup>[7]</sup>.因为它对电子的绝对探测效率约100%,加之象塑料等闪烁体非常便宜,只要加大体积便可得到很高的探测效率.此外,它还具有很快的响应时间( $\sim 10 \text{ ns}$ ).因此,尽管它有能量分辨差、能量刻度不方便等缺点,还是得到了广泛的应用.其能量刻度通常采用如下手段:(1)利用内转换电子源所发射的单能电子;(2)利用电子加速器提供的电子束;(3)利用电子磁谱仪所提供的单能电子束;(4)利用具有不同端点能量的若干核素作为放射源;(5)利用γ射线的康普顿边缘峰.

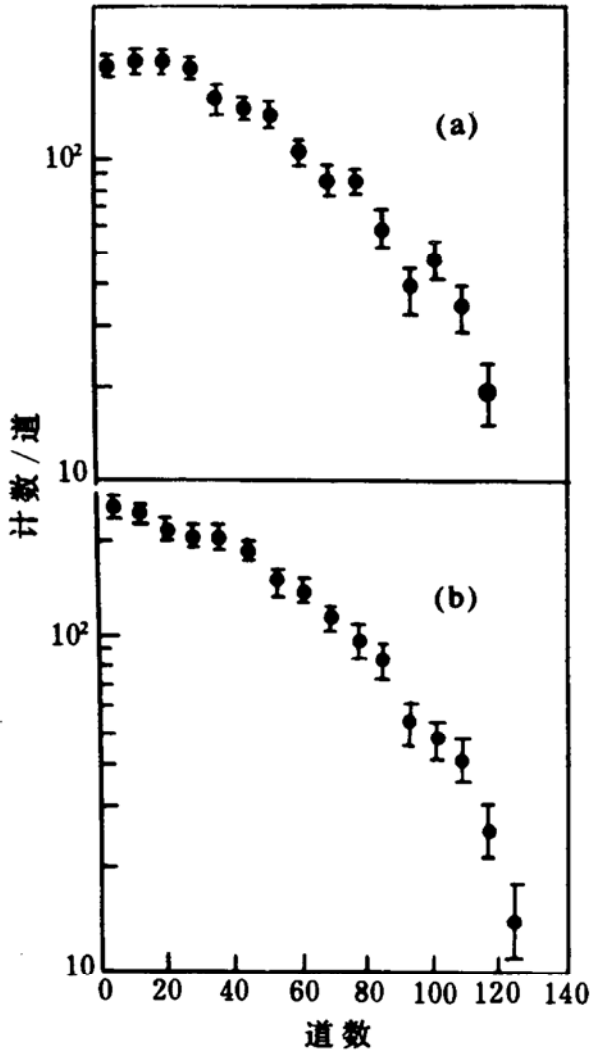


图1 测得的<sup>235</sup>Pa(a)和<sup>235</sup>Th(b)的β谱

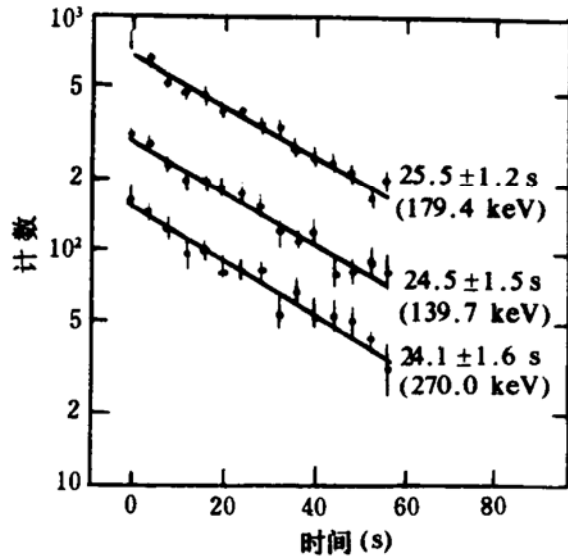


图2 典型的β开门的<sup>120</sup>Baγ射线衰变曲线

### 3 闪烁体β射线探测器及其应用

闪烁体β射线探测器是利用电子在固态物质中次级电子的产生这一基本原理工作的.为降低电子在闪烁体物质中背散射和韧致辐射效应,尽量保证β(e)的全部能量损失在其中,一般采用低Z闪烁材料.因而,β(e)

我们建立了一套闪烁望远镜系统.它由一个Φ100mm的半球型E探测器和一块Φ20mm×0.6mmΔE探测器组成.其材料均是国产ST401A塑料闪烁体.为尽可能减少能谱畸变和能量响应非线性,E探测器为半球型.该系统能量分辨为250keV,时间分辨为2ns.以较大尺寸塑料作主探测器,不仅是为保证足够高能量的β能谱测量,更重要的是为提高探测效率,使其达(30~40)%.

在<sup>120</sup>Ba的β衰变实验中,使用了该探测系统中的E探测器,它充分发挥了快上升时

间,尤其是高探测效率的优势,保证了实验 4 结 论

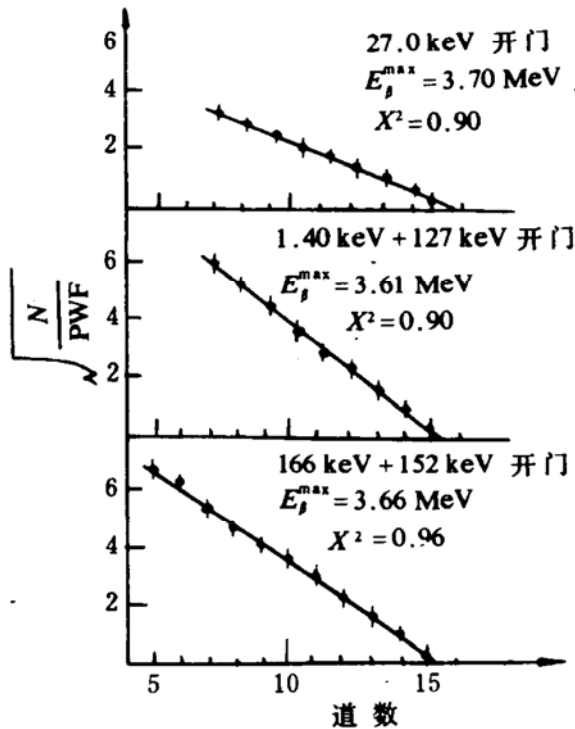


图3 <sup>120</sup>Ba 三组 β 谱的 Fermi-Curie 标绘

的顺利进行并取得好的结果<sup>[8]</sup>. 在较低<sup>120</sup>Ba 产额情况下,将该探测器与一台40%效率的HPGe $\gamma$ 探测器联合作了 $\beta$ - $\gamma$ 符合测量. 这样,不仅有效地降低了本底,获得了较干净的 $\gamma$ 谱,从而确定了<sup>120</sup>Ba $\beta$ 衰变的 $\gamma$ 射线,而且,虽然精度不高,但总是获得了与<sup>120</sup>Ba的部分 $\gamma$ 射线符合的 $\beta$ 谱,从而获得了<sup>120</sup>Ba部分能级 $\beta$ 跃迁的端点能量,最后得到了<sup>120</sup>Ba的 $Q_{EC}$ 值 $5.0 \pm 0.3$  MeV. 图2给出了<sup>120</sup>Ba的与 $\beta$ 符合的三条 $\gamma$ 射线的时间衰变曲线. 图3给出了<sup>120</sup>Ba的三组 $\beta$ 谱的 Fermi-Curie 标绘.

固体 $\beta$ 射线探测器的共同特点是:造价低,制作方便,操作简单,使用方便,易满足高能 $\beta(e)$ 谱测量的需要等. 半导体 $\beta$ 射线探测器具有能量分辨好的优点,闪烁体 $\beta$ 射线探测器具有快响应时间和可获得高探测效率的优点. 因此,只要拥有这两种类型的探测器,取长补短,便可满足一般的 $\beta(e)$ 谱测量工作. 另外,利用塑料闪烁体还可制作 $4\pi$  $\beta$ 探测器. 只要将两片薄塑料闪烁体面对面装配起来,并使其二者间的距离尽量小,由此便建立了 $4\pi$  $\beta$ 探测器. 如果拥有这三套系统,便可满足能谱和计数测量工作.

当然,固体 $\beta$ 射线探测器绝非万能,若对测量精度要求非常高,它就无能为力了,或者对测量提出一些特殊要求,都须采取另外的探测手段.

### 参 考 文 献

- 1 Rainer DECKER, et al. Nucl. Inst. and Meth., 1982, 192:261
- 2 Lund E, et al. Nucl. Inst. and Meth., 1976, 134:173
- 3 Wiesner W, et al. Nucl. Inst. and Meth., 1973, 112:449
- 4 Lafigliola R, et al. Can. J. Chem., 1983, 61:694
- 5 Trzaska W, et al. Nucl. Inst. and Meth., 1983, 212:221
- 6 Yuan Shuanggui, et al. Phys. Rev., 1989, C39:256
- 7 Wohn F K, et al. Nucl. Inst. and Meth., 1992, 101:343
- 8 Xu Shuwei, et al. Phys. Rev., 1992, C46:510

## Solid $\beta$ -ray Detectors and Their Application

Yuan Shuanggui

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

**Abstract** Two sets of solid  $\beta$ -ray telescopes of different type were built and used successfully in experiments. This paper gives examples of two telescopes to describe the feature of solid  $\beta$ -ray detectors and their important function in experiments of nuclear physics.

**Key Words** semiconductor, scintillator,  $\beta$ -spectrum, detector.