

$4\pi\Delta E_\beta$ 探测器的建立及其在丰中子核素研究中的应用*

王积成 赵进华 郭光辉 杨永峰 张立

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1994-04-18 收稿

摘 要

建立了一台 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器,它具有很好的时间响应性能,它的上升时间为 8ns. 利用 $4\pi\Delta E_\beta-\gamma$ 符合的技术使缺中子核素中来自电子俘获的 γ 线强度受到了很大的抑制,而对以 100% β^- 方式衰变的丰中子 Hg 同位素的 γ 线具有 60% 的符合探测效率. 将该探测器用于 $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ 的实验中,使康普顿本底水平大大降低.

关键词 $4\pi\Delta E_\beta-\gamma$ 符合,抑制系数,丰中子核,电子俘获.

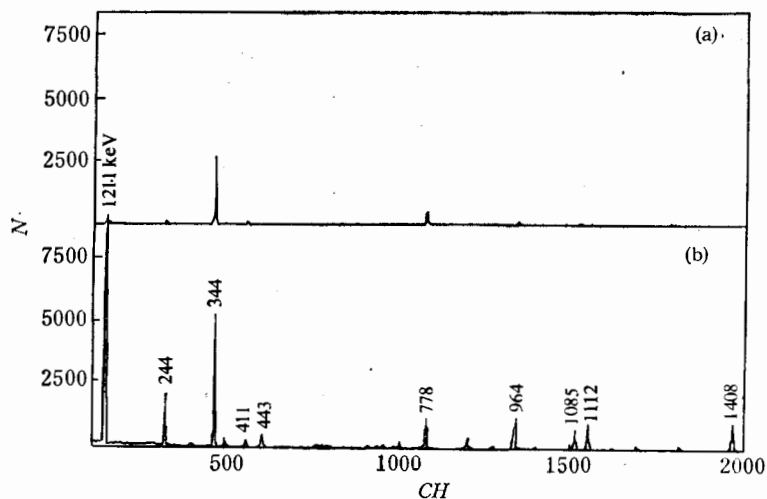
在利用重离子反应研究丰中子核的同时,也生成了大量的缺中子核素. 这些缺中子核截面远远大于远离稳定线的丰中子核,稳定线附近的缺中子核截面一般均在 mb 量级以上,而远离稳定线的丰中子核截面只有 μb 量级或更小. 这样,这些缺中子核就成了研究丰中子核的很大的干扰因素,所以有必要对缺中子核素的衰变 γ 线强度进行抑制,突出所要研究的丰中子核的特征 γ 线.

中能重离子炮弹轰击比较重的靶时,生成的产物异常丰富,不管是同位素链还是质量链都非常长. 即使是利用在线同位素分离器进行了 A 的选择,在这一质量链上仍分布了许多缺中子核,直接测得的 γ 谱仍然会很复杂,低截面的丰中子核的 γ 线仍然会被淹没在截面高得多的缺中子核的谱线之中. 如果利用化学分离的方法或者其他选择 Z 的分离方法,则同位素链上的缺中子核及其衰变子核又会对丰中子核的研究造成强烈干扰. 所以,无论选择那种分离手段,都需发展特殊的探测手段,抑制分离样品中的缺中子核素,以便有利于远离稳定线的丰中子核的研究,这方面的工作在近几年来进展的比较缓慢.

由于目前我们所要研究的重丰中子核均以 100% β^- 衰变到子核,而伴生的缺中子核则主要是通过电子俘获衰变的, β^+ 衰变分支比几乎为零或非常小,这就为抑制这个区域的缺中子产物提供了便利条件. 我们在研究丰中子核时,用 $\Delta E_\beta-\gamma$ 符合技术来抑制缺中子核素的 γ 线. ΔE_β 用薄的塑料闪烁体,它对 γ 不灵敏、而对 β 粒子灵敏.

远离稳定线的重丰中子核截面很低, ΔE_β 的效率显得非常重要,为了提高效率,我们

* 国家自然科学基金和中国科学院重大课题基金资助.

图 2 (a) 用 ^{152}Eu 源测得的 $4\pi\Delta E_\beta$ - γ 符合谱 (b) 用 ^{152}Eu 源测得的 γ 单谱表 1 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器对电子俘获伴生 γ 线的抑制系数 η

核 素	衰变方式(分支比)	伴生 γ 线能量 (keV)	抑制系数 η
^{152}Eu	EC	121.78	26.6
	β^+ (分支比非常小)	244.66	25.2
^{190}Hg	EC(100%)	142.6	25.2
^{192}Hg	EC(100%)	274.8	27.0

可得到 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器对 β^+ 的探测效率 ϵ 。在由 $^{18}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ 反应产生的汞同位素中, ^{205}Hg 以 96% $1.538\text{MeV}\beta^-$ 衰变到了 ^{205}Tl 基态, 没有伴生 γ 线, 以 4% $1.335\text{MeV}\beta^-$ 衰变到 ^{205}Tl 第一激发态, 再以 $203.7\text{keV}\gamma$ 退激到基态, 由此 γ 线便可得效率 ϵ 。 ^{206}Hg 以 63% $1.313\text{MeV}\beta^-$ 衰变到 ^{206}Tl 基态, 没有伴生 γ 线, 以 34% $0.935\text{MeV}\beta^-$ 衰变到 ^{206}Tl 激发态, 与之相级联的 γ 线为 304.6keV , 通过这条 γ 线便可求得效率 ϵ 。于是我们得到了相应于不同 β 能量 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器的探测效率(见表 2)。

表 2 相应于不同 β 能量 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器的探测效率

核 素	衰变方式	粒子能量 (MeV)	伴生 γ 线 (keV)	探测效率(%)
^{60}Co	β^-	0.313	1332.46	57
^{22}Na	β^+	0.545	1274.5	59
^{152}Eu	β^-	1.492	344.3	60.7
		1.072		
		0.690		
		0.360		
		0.19		
^{206}Hg	β^-	0.935	304.6	61.4
^{205}Hg	β^-	1.335	203.7	67.5

GSI 利用在线质量分离器和 $4\pi\Delta E_\beta\text{-}\gamma$ 符合技术成功地研究了一系列新丰中子核^[2-5], 他们的 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器占 70% 的 4π 立体角, 符合效率是多少, 并没有具体而详细的报道, 我们的 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器占 90% 的 4π 立体角, 符合效率是 60%。现在我们的 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器也已经非常成功地应用于近代物理研究所 HIRFL 上 $^{18}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ 反应研究汞丰中子同位素的实验, 取得了令人满意的效果。实验利用 28MeV 的 ^{18}O 束轰击厚的熔化铅靶。将生成的产物经挥发和热色谱式分离^[6,7]使汞高效率地收集到金铂上, 在线熔化铅靶装置实际上是对反应产物进行了 Z 的选择, 被高选择性地吸收到金箔上的汞同位素链很长, 缺中子一边的截面很大且谱线复杂, 有必要对其进行抑制。实验中我们同时测量了样品的 γ 单谱和 $4\pi\Delta E_\beta\text{-}\gamma$ 符合谱, 数据以时间序列谱的形式记录。通过对数据的分析处理, 由 ^{190}Hg 、 ^{192}Hg 所得到的 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器的抑制系数和由 ^{205}Hg 、 ^{206}Hg 所得的 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器的探测效率已分别列于表 1 和表 2。图 3 给出了实验中所测得 $4\pi\Delta E_\beta\text{-}\gamma$ 符合谱和相应 γ 单谱的一部分, 在符合谱中, 丰中子汞同位素 ^{205}Hg 和 ^{206}Hg 的 γ 线 415.5keV、304.8keV 比单谱中显著地突出出来了, 而缺中子同位素 ^{190}Hg 、 ^{190}Au 的 γ 线 142.8、295.3keV 在符合谱中均被强烈地抑制住了, 这是由于 ^{190}Hg 电子俘获分支比为 100%, 而 ^{190}Au 电子俘获分支比为 98%, β^+ 衰变分支比仅为 2%。相对来说, ^{187}HgG 、 ^{189}HgB 的 γ 线 298.3、320keV 在符合谱中被抑制的并不是十分强烈, 这肯定是由于这两个核 β^+ 衰变分支比较高而造成的, 目前实验上还没有得到这方面的数据, 利用前面所用的公式 $N_2 = (1 - \eta_{\text{EC}})\varepsilon N_1 + \eta_{\text{EC}}N_1/\eta$, 这里 η_{EC} 和 $(1 - \eta_{\text{EC}})$ 分别为电子俘获和 β^+ 衰变的分支比, 由表 1 和表 2 分别取 $\eta = 25$ 、 $\varepsilon = 60\%$, 便可得到 ^{187}HgG 的电子俘获分支比为 64.2%, β^+ 衰变分支比为 35.8%; ^{189}HgB 的电子俘获分支比为 74%, β^+ 衰变分支比为 26%。由于 $4\pi\Delta E_\beta$ 探测器

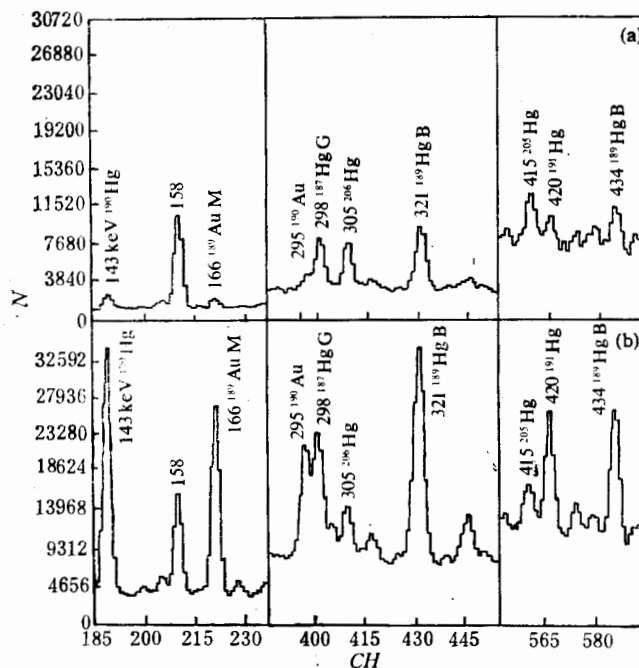


图 3 (a) 实验中测得的 $4\pi\Delta E_\beta\text{-}\gamma$ 符合谱 (b) 实验中测得的相对应的 γ 单谱

对缺中子核素的抑制作用,使得符合谱中平均康普顿本底水平比单谱中降低了 4—5 倍,而对丰中子核又有高的符合探测效率。本次实验还得到了丰中子汞同位素 ^{205}Hg 、 ^{206}Hg 、 ^{207}Hg 、 ^{208}Hg 的相对截面比以及绝对截面的近似值。这将在另外一篇文章中给予报道。

参 考 文 献

- [1] 核素图表编制组,核素常用数据表,原子能出版社,(1976).
- [2] E. Runte et al., *Z. Phys.*, **A328**(1987)119.
- [3] R. Kirchner et al., *Nucl. Phys.*, **A378**(1982)549.
- [4] K. Rykaczewski et al., *Nucl. Phys.*, **A499**(1989)529.
- [5] E. Runte et al., *Nucl. Phys.*, **A453**(1986)1.
- [6] Zhang Li et al *Phys. Rev.* **C49**(1994)27.
- [7] Zhao Jinhua et al., *Chin. J. of Nucl. Phys.*, **14**(1992)267.

$4\pi\Delta E_\beta$ Detector and Its Application to Researching Neutron-Rich Nuclides

Wang Jicheng Zhao Jinhua Guo Guanghui Yang Yongfeng Zhang Li

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Received 18 April 1994

Abstract

A $4\pi\Delta E_\beta$ detector has been set up. Its time response is very good and the rising time is 8ns. By using $4\pi\Delta E_\beta$ - γ coincidence technique, the γ intensity of neutron-deficient nuclides followed by electron capture is strongly suppressed, but the coincidence efficiency about γ line followed by 100% β^- decay in neutron-rich Hg nuclides reaches highly 60%. The application of this detector to $^{18}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ experiment made the Compton background descend sharply.

Key word $4\pi\Delta E_\beta$ - γ coincidence, suppressing ratio, neutron-rich nuclide, electron capture.