

^{193}Pb 低位能级结构研究*

周小红 孙相富 雷祥国 金寒涓 刘忠
张玉虎 潘强岩 郭应祥 陈新峰 罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

温书贤 袁观俊 李广生 杨春祥

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

1993年12月18日收到

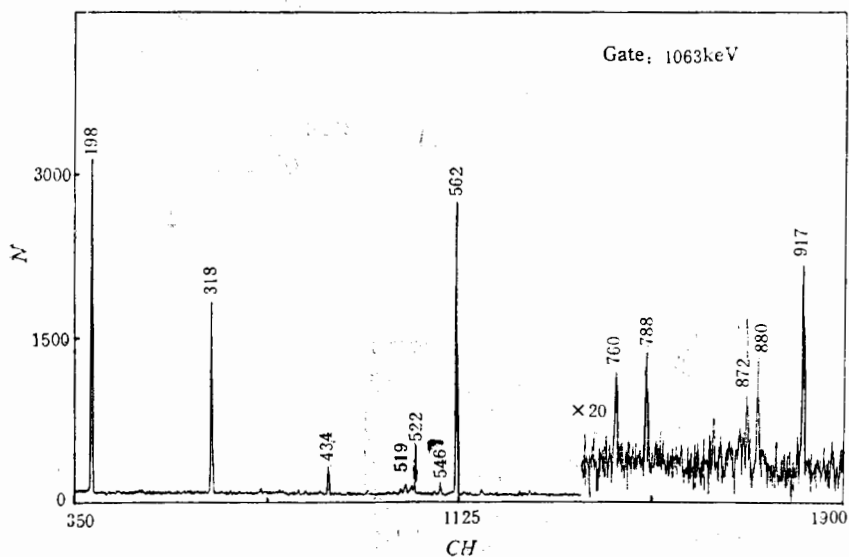
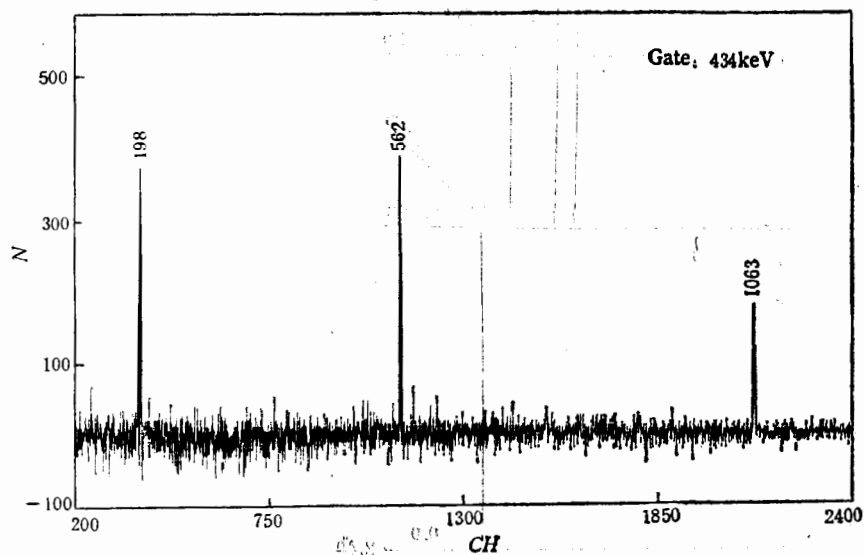
摘 要

用100MeV ^{16}O 束流轰击厚的天然Re靶,产生了具有 β^+/EC 衰变性质的核素 ^{193}Bi (^{198}Pb 的母核)。完全在束的实验条件下用 $\gamma\text{-}\gamma$ 符合测量方法研究了 ^{193}Bi 的衰变 γ 线,确定了 ^{193}Pb 的八个能级,识别出了 ^{198}Pb 低位态能级退激的五条新 γ 线,从而进一步丰富了 ^{193}Pb 的低位态能级结构。

关键词 符合测量,衰变纲图,在束 γ 。

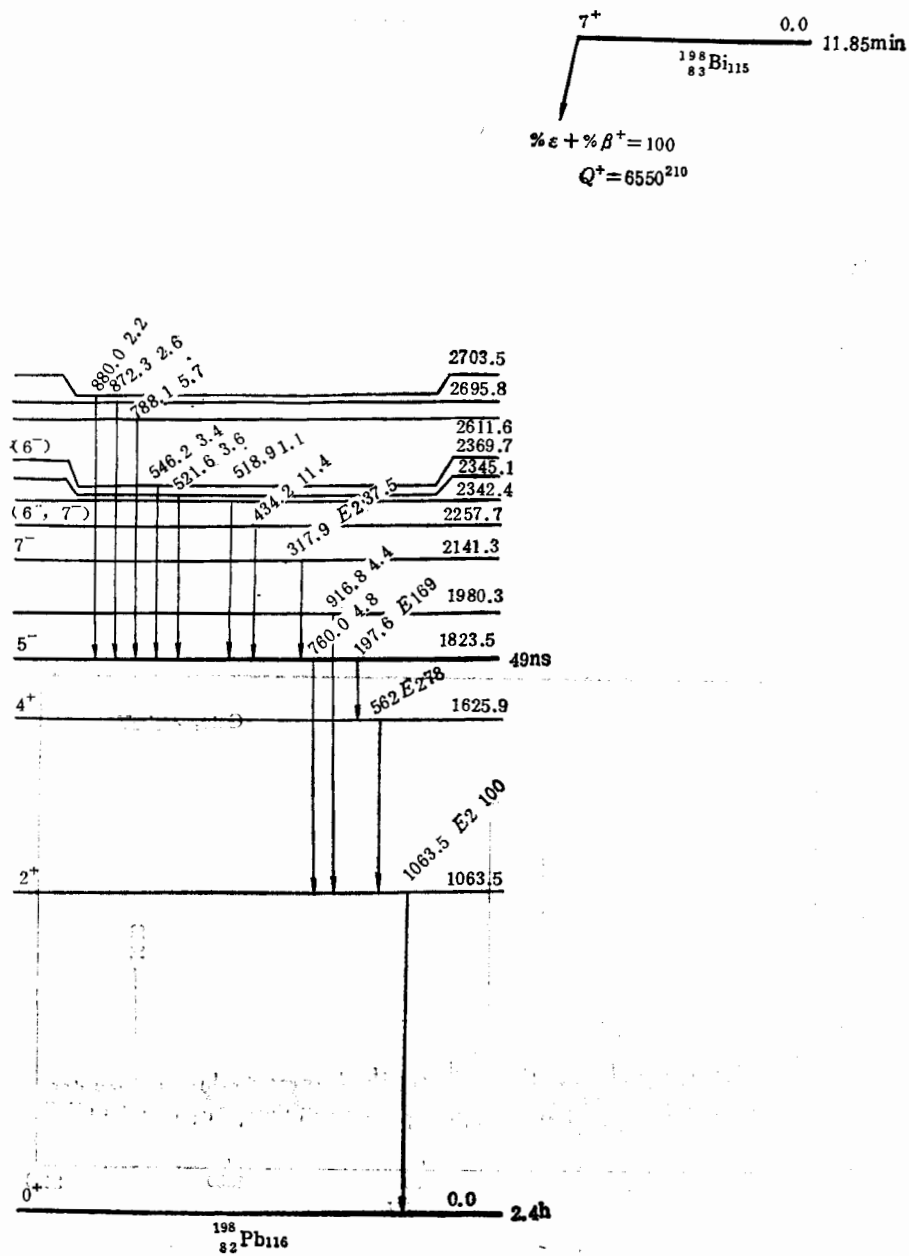
缺中子铅同位素由于其质子数具有幻数的特点,所以能级结构在理论上有着十分重要的意义,是检验壳模型的理想区域。偶质量数铅同位素的低位激发态的能级系统性特点,在理论上可用相当纯的壳模型二准粒子态得到解释。但理论预言随着中子数的减少会出现准粒子自由度与集体自由度竞争的情况^[1],这样在低位能级结构中会出现形状共存等集体运动的特征。特别是在发现了 $^{192-198}\text{Pb}$ 有一形变的低位激发的 0^+ 态^[1]后,更加引起了人们对这一区域核素低位态能级结构研究的兴趣。因此,进一步完善它们的低位能级结构就显得十分重要。通常用熔合蒸发反应直接产生 ^{198}Pb 时主要布居的是其高自旋态。因此 ^{198}Pb 的低位能级结构研究主要还是基于早年同位素分离的 ^{198}Bi 衰变研究^[2]。 ^{198}Bi 为奇-奇核,基态角动量较大为 $7\hbar$;而 ^{198}Pb 为偶-偶核,其基态角动量为零。这样 ^{198}Bi 可衰变到 ^{198}Pb 角动量较高的低位态,使符合测量成为可能。但由于分离效率不高、探测效率低等原因不能进行有效的符合测量,早期的工作仅仅确定了1063、562、198、318keV这几条强的衰变 γ 线及其级联关系。在本研究中用100MeV ^{16}O 轰击厚的天然Re靶, ^{198}Bi 产额很大。用在束 γ 谱学的研究方法,完全在束的实验条件下用 $\gamma\text{-}\gamma$ 符合测量了 ^{198}Bi 高自旋态的同时,也测到了 ^{198}Bi 衰变 γ 的级联关系。鉴别出了五条新的 ^{198}Bi 衰变 γ 线,

* 国家自然科学基金资助。

图1 用 1063keV 跃迁开门的 γ - γ 符合谱图2 用 434keV 跃迁开门的 γ - γ 符合谱

确定了 ^{198}Pb 的八个能级位置。

实验用原子能研究院 13MV 串列静电加速器提供的 100MeV ^{16}O 束流轰击厚的天然 Re 靶,靶中主要成分 ^{187}Re 占 63%。主要反应道是 $^{187}\text{Re}(^{16}\text{O}, 5n)^{198}\text{Bi}$, 用七套 BGO(AC) HPGe 探头进行了在束条件下的 γ - γ 符合测量,探测器的符合时间分辨是 14ns。符合事件以 $E-E-\Delta t$ 格式 (Δt 为符合的二个 γ 线到达探测器的时间差) 记录在磁带上并在离线数据处理时整理成了一个 4096×4096 的符合矩阵,共获取了 12×10^6 个符合事件。束流轰击靶子一定时间后,立即在停束的条件下对靶子的放射性进行了测量,为了确定一

图 3 本研究建议的 ^{198}Bi 衰变纲图

些主要衰变 γ 线的寿命,同时亦进行了时间序列谱测量。在本研究中所发现的 ^{198}Pb 的所有 γ 线(198、318、434、519、522、546、562、760、788、872、880、917、1063keV)均出现在靶子的衰变谱中。在 ^{198}Bi 的衰变纲图中给出了每条 γ 线相对于 1063keV 跃迁的强度(图 3)。另外,测得的 ^{198}Pb 比较强的 γ 线的寿命均在 $11.5 \pm 0.8\text{min}$ 内,这正是 ^{198}Bi 基态的寿命(11.6min)。根据 CASCADE 计算,反应道 $^{187}\text{Re}(^{16}\text{O}, 5n)^{198}\text{Bi}$ 的截面是反应道 $^{187}\text{Re}(^{16}\text{O}, 1p4n)^{198}\text{Pb}$ 截面的 100 倍左右。K. Honkanen 等^[3]用 $^{192}\text{Os}(^{12}\text{C}, 6n)^{198}\text{Pb}$ 反应对 ^{198}Pb

进行了直接的在束研究,观测到了角动量达 $23\hbar$ 的高自旋态。但在本研究中没有看到 ^{198}Pb 的角动量 $J \geq 9\hbar$ 以上能级的退激 γ 线,而这些较高角动量态的退激 γ 线的强度在文献[3]中是与低位能级的退激 γ 线有同一数量级的强度。因此在本研究中 ^{198}Pb 不是直接产生的,它确实来源于 ^{198}Bi 的衰变。

对 ^{198}Bi 衰变新 γ 线的指定主要基于与已知的 ^{198}Pb γ 线的符合测量,典型的扣除了本底的 γ - γ 符合谱见图 1, 图 2。在本研究中所发现的新的 ^{198}Bi 的衰变 γ 线都明显地与 1063keV γ 线符合。通过仔细地分析这些 γ - γ 符合关系,建议了 ^{198}Bi 的衰变纲图如图 3。

文献[2]指定了 434、546、917keV 三条 γ 线为 ^{198}Bi 的衰变 γ 线,并测量了 434、546keV 跃迁的内转换系数,指出了 546keV 跃迁的多极性是 $M1$, 434keV 跃迁的多极性可能是 $E2(M1)$ 。但因未能进行符合测量而不能确定它们在能级纲图中的位置。本研究发现 434、546keV γ 线只与 198、562、1063keV γ 线明显地符合而不与 318keV γ 线符合,并且在延迟符合 ($\Delta t > 30\text{ns}$) 的条件下它们仍然与 198、562、1063keV γ 线清楚地符合,这说明它们位于 1824keV 同质异能态之上。结合文献[2]的多极性测量结果,确定了位于 2258 keV、2370keV J^π 值可能分别是 $7^-(6^-)$, 6^- 的二个新能级。917keV γ 线十分清楚地只与 1063keV 瞬时符合而不与别的 ^{198}Pb γ 线有任何符合关系,这样就确定了位于 1980keV 的另一能级。文献[3]虽然指出了 760keV 这条弱的 $5^- \rightarrow 2^+$ $E3$ 跃迁,但由于统计差而符合关系不明显未被核数据^[4]认可。在本测量中(图 1)得到了较好的统计,760keV γ 线与 1063

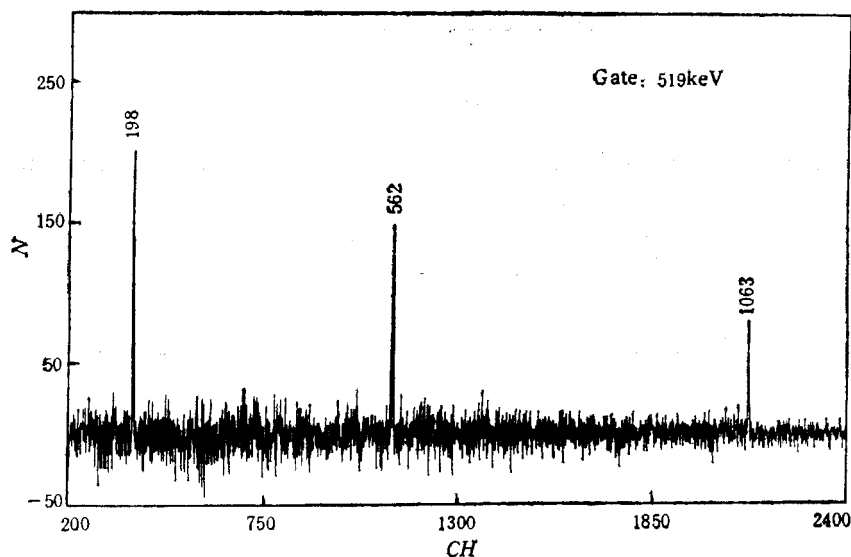


图 4 用 519keV 跃迁开门的 γ - γ 符合谱

keV γ 线瞬时符合,与 318keV γ 线延迟符合,而且它的能量恰好就是 198、562keV 这二个跃迁能量之和,十分肯定地证实了这条 $E3$ 跃迁 γ 线的存在。鉴别出的另外五条新 γ 线 519、522、788、872、880keV 有着完全相同的如图 4 的符合关系,它们也都与 198、562、1063 keV 有延迟符合。依据这些符合关系得到了位于 2342、2345、2612、2696、2704keV 的五个

新能级。考虑到 ^{198}Bi 基态自旋值为 $7\hbar$ 以及 ^{198}Pb 这个偶-偶核能级结构的特点,这些新 γ 跃迁是合理的。由于尚不能确定这些跃迁的多极性,因此不能给出这些新能级的自旋宇称值。

本文所述的在完全在束 γ 测量的同时,利用在束实验强有力的多探头符合系统以在束实验核反应产物为放射源(^{198}Bi),做长时间符合测量,从而获得和丰富了衰变子核(^{198}Pb)的能级结构数据的方法,颇具新意,并且具有效率高特点和相当的普适性。

参 考 文 献

- [1] P. Van Duppen et al., *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984) 1974.
- [2] M. Pautrat et al., *Nucl. Phys.*, **A201**(1973), 469.
- [3] K. Honkanen et al., *Nucl. Phys.*, **A451**(1986) 141.
- [4] Zhou Chunmei, *Nucl. Data. Sheets*, **60**(1991)527.

Study of Low-lying Level Structure in ^{198}Pb

Zhou Xiaohong Sun Xiangfu Lei Xiangguo Jin Hanjuan Liu Zhong Zhang Yuhu
Pan Qiangyan Guo Yingxiang Chen Xinfeng Luo Yixiao
(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou, 730000*)

Wen Shuxian Yuan Guanjun Li Guangsheng Yang Chunxiang
(*China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413*)

Received on December 18, 1993

Abstract

With the powerful multidetector system of In-beam γ -ray experiment, γ -lines following the β^+/EC decay of ^{198}Bi nucleus have been investigated using comprehensive (γ - γ - t) coincidences in in-beam conditions. Five new transitions of ^{198}Pb were observed and eight energy levels were established.

Key words coincidence measurement, decay scheme, In-beam γ .