

进一步指认近质子滴线核 ^{129}Pm 的衰变^{*}

徐树威^{1;1)} 谢元祥¹ 许甫荣² 李占奎¹ 王旭东¹ 邢焯炳¹

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (北京大学技术物理系 北京 100087)

摘要 2004年曾报道过利用 $^{40}\text{Ca} + ^{92}\text{Mo}$ 融合蒸发反应产生了近质子滴线新核素 ^{129}Pm ,并首次观测到它($\text{EC} + \beta^+$)衰变产生的能量为99keV的 γ 射线.为了进一步确认上述指认,以下提供了三方面的新证据:1)在164—190MeV能量范围内测量了99keV衰变 γ 射线的激发函数;2)进行了交叉反应 $^{36}\text{Ar} + ^{96}\text{Ru}$ 的实验,观察到了相同的99keV衰变 γ 射线;3)用Woods-Saxon Strutinsky方法计算了 ^{129}Pm 的核势能面,其基态自旋宇称被预言为 $5/2^-$,所以 ^{129}Pm 的($\text{EC} + \beta^+$)衰变有利于馈送到子核 ^{129}Nd 的 $5/2^-$ 的低位态,这也与前期报道相符.

关键词 质子滴线 激发函数 交叉反应 Woods-Saxon Strutinsky方法 核势能面

1 引言

2004年我们曾在本刊^[1]报道过:借助重离子引起的融合蒸发反应 $^{92}\text{Mo}(^{40}\text{Ca}, p2n)$ 合成了质子滴线附近的未知核素 ^{129}Pm ,并且配合氦喷嘴快速带传输系统利用“X- γ ”符合方法对它进行了首次鉴别. ^{40}Ca 的入射能量为183MeV(本文以下谈到的束流能量均为入射能量),相当于在靶芯处的能量176MeV.实验观测到了经 ^{129}Pm 的($\text{EC} + \beta^+$)衰变产生的,对应于子核 ^{129}Nd 中已知的 $5/2^- \rightarrow 1/2^-$ 跃迁的一条99keV γ 射线^[2].根据这条 γ 射线的时间衰变曲线,提取出 ^{129}Pm 的半衰期为 $(2.4 \pm 0.6)\text{s}$.

为了确认这条99keV γ 射线的确是来自 ^{129}Pm 的($\text{EC} + \beta^+$)衰变,最近我们又完成了以下三方面的工作,获得了进一步的证据.

2 激发函数

在文献^[1]的图1中,给出了测量183MeV $^{40}\text{Ca} + ^{92}\text{Mo}$ 反应产物衰变时,用Nd-K $_{\alpha}$ -X开门的 $\gamma(X)$ 射

线谱.在该图中除了Nd-K $_{\alpha}$ -X和Nd-K $_{\beta}$ -X射线外,我们还看到了 $^{130}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变中最强的159keV γ 射线^[3]和一条新的99keV γ 射线.这说明该99keV γ 射线来自某种Pm同位素的($\text{EC} + \beta^+$)衰变.根据已知的子核 ^{129}Nd 的在束 γ 谱^[2],这条99keV γ 射线正对应于 ^{129}Nd 的低位态 $5/2^- \rightarrow 1/2^-$ 的 γ 跃迁.所以

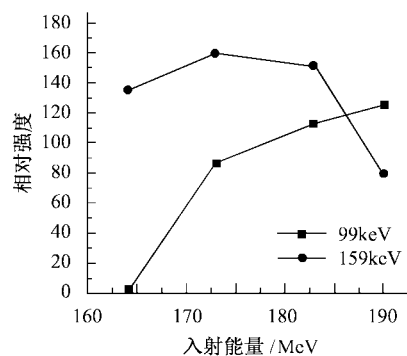


图1 99keV和159keV衰变 γ 射线的激发函数
图中数据点代表了99keV和159keV两条 γ 射线的相对强度,但其中99keV的 γ 射线的强度放大了2.5倍.所有数据点的相对误差约为20%.

2004-07-09 收稿

^{*} 国家自然科学基金(10375078, 10175002),中国科学院综合计划局,国家重点基础研究发展规划项目(G2000077402)资助

1) E-mail: xsw@ns.lzb.ac.cn

在文献[1]中首次指认这条 99keV γ 射线属于 ^{129}Pm 的($\text{EC} + \beta^+$)衰变. 为了进一步弄清 99keV γ 射线的来源, 在入射能量 164—190MeV 范围内, 我们对比较做了 99keV 和 159keV 这两条 γ 射线的激发函数(如图 1 所示). 这两条激发函数不同说明来自 Pm 不同的同位素. 从趋势来看 99keV γ 射线激发函数的极值能量高于 159keV γ 射线激发函数的极值能量, 说明 99keV γ 射线来自比 ^{130}Pm 更轻的同位素. 所以这个事实也是支持我们指认 99keV γ 射线来自 $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变的.

3 交叉反应

交叉反应方法是一种常用的鉴别核素的方法. 它是指用不同的弹靶组合来产生同一复合核, 以便识别该复合核生成的余核衰变. 我们曾利用能量为 171MeV 的重离子 ^{36}Ar 轰击 ^{96}Ru 靶, 产生相同于 $^{40}\text{Ca} + ^{92}\text{Mo}$ 反应的复合核 ^{132}Sm , 这也可以再一次观测蒸发 p2n 后所得到的余核 ^{129}Pm 的衰变. 图 2 就是观测 $^{36}\text{Ar} + ^{96}\text{Ru}$ 反应产物衰变时, 用 Nd-K $_{\alpha}$ -X 开门的 $\gamma(X)$ 射线谱. 图中除 Nd 的 X 射线峰外, 出现的较强的 γ 射线都属于各种 Pm 同位素的已知的衰变 γ 射线. 其中也包括曾被我们指认属于 ^{129}Pm 衰变的 99keV γ 射线. 应当指出: 实验用的是金属 Ru 靶, 其中 ^{96}Ru 的富集度为 90%, 另外还含有少量的 ^{99}Ru , ^{100}Ru 和 ^{101}Ru , 图 2 中显示的 ^{132}Pm , ^{133}Pm , ^{134}Pm 和 ^{135}Pm 的衰变 γ 射线是 ^{36}Ar 轰击 Ru 靶中 $^{99-101}\text{Ru}$ 同位素所产生的.

文献[1]的图 1 是观测 183MeV 的 ^{40}Ca 轰击 ^{92}Mo

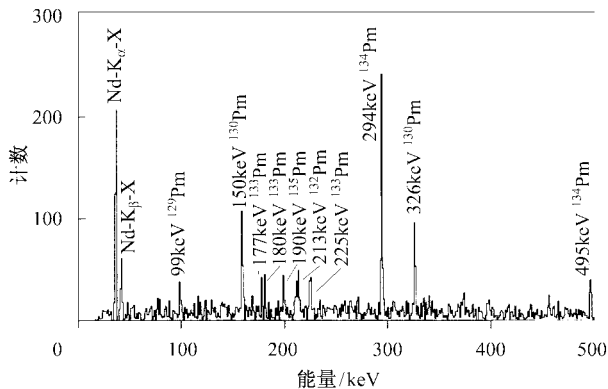


图 2 观测 171MeV $^{36}\text{Ar} + ^{96}\text{Ru}$ 反应产物的衰变时, 用 Nd-K $_{\alpha}$ -X 开门的 $\gamma(X)$ 射线谱
图中的强峰都标记了它们的能量和对应的($\text{EC} + \beta^+$)
缓发 γ 的先驱核.

反应产物的衰变时, 用 Nd-K $_{\alpha}$ -X 开门的 $\gamma(X)$ 射线谱. 现在, 我们把 171MeV ^{36}Ar 轰击 ^{96}Ru 反应的实验结果加一对比, 绘成了图 3. 图 3 说明形成相同复合核的交叉反应, 得到了相同的余核, 表现出了相同的衰变特性, 即从交叉的两种反应产物中看到了相对强度大致相同的属于 ^{130}Pm 衰变的 159keV γ 射线和属于 ^{129}Pm 衰变的 99keV γ 射线. 这个事实再一次支持文献[1]把 99keV γ 射线指认属于 ^{129}Pm 的($\text{EC} + \beta^+$)衰变.

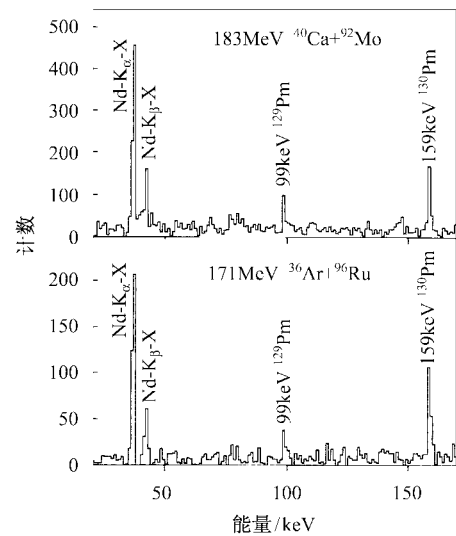


图 3 183MeV $^{40}\text{Ca} + ^{92}\text{Mo}$ 和 171MeV $^{36}\text{Ar} + ^{96}\text{Ru}$ 反应
产物衰变时 Nd-K $_{\alpha}$ -X 开门测得的 $\gamma(X)$ 射线谱的对比图

4 计算核势能面

我们利用 Woods-Saxon Strutinsky 方法^[4] 计算

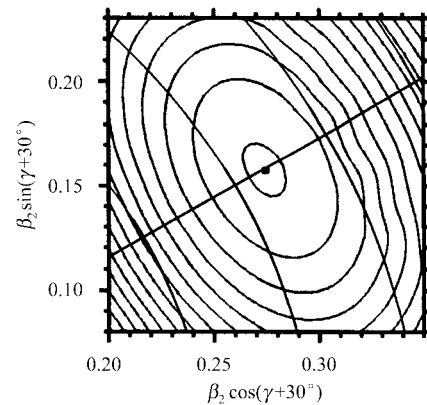


图 4 用 Woods-Saxon Strutinsky 方法计算得到的
 ^{129}Pm 核位能面的负宇称组态
图中极小值对应于 $\beta_2 = 0.316$ 和 $\gamma = -0.1^\circ$.

了 ^{129}Pm 的核势能面. 对应负宇称组态(图4)发现了一个极小值,它对应于 $\beta_2 = 0.316$ 和 $\gamma = -0.1^\circ$. 表明最后一个质子处于 $\pi 5/2^- [532]$ 轨道,即 ^{129}Pm 的基态自旋宇称为 $5/2^-$. 这与1997年Möller等人所预言的 ^{129}Pm 的基态自旋和宇称为 $5/2^- [5]$ 是相符的. 按照这种预言和 β 衰变的选择定则, $^{129}\text{Pm}(\text{EC} +$

$\beta^+)$ 衰变应当通过容许跃迁优先馈送到子核 ^{129}Nd 中具有自旋为 $3/2^-$, $5/2^-$, 或 $7/2^-$ 的低位能级. 我们从实验上首先观察到了由 $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$ 衰变引起的子核 ^{129}Nd 中 $5/2^- \rightarrow 1/2^-$ 跃迁. 这个实验事实与两种理论预言的 ^{129}Pm 的基态自旋是协调一致的.

参考文献 (References)

- 1 XU S W, XIE Y X, LI Z K et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2004, **28**: 158—160 (in Chinese)
(徐树威, 谢元祥, 李占奎等, 高能物理与核物理, 2004, **28**(2): 158—160)
- 2 Zeidan O, Hartley D J, Riedinger L L et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 024303
- 3 XIE Y X, XU S W, LI Z K et al. Eur. Phys. J., 1999, **A5**: 341—345
- 4 Nazarewicz W, Dudek J, Bengtsson R et al. Nucl. Phys., 1985, **A435**: 397—430
- 5 Möller P, Nix J R, Kratz K L. At. Data Nucl. Data Tables, 1997, **66**: 131—343

Further Identification of the Decay of ^{129}Pm Near the Proton Drip Line *

XU Shu-Wei^{1;1)} XIE Yuan-Xiang¹ XU Fu-Rong² LI Zhan-Kui¹ WANG Xu-Dong¹ XING Ye-Bing¹

¹ (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

² (Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100087, China)

Abstract It was reported in our previous paper in 2004 that the unknown isotope ^{129}Pm near the proton drip line was produced via the fusion-evaporation reaction $^{40}\text{Ca} + ^{92}\text{Mo}$, and a 99keV γ line was assigned to the $(\text{EC} + \beta^+)$ decay of ^{129}Pm for the first time. In order to confirm the assignment, following three new evidences are provided in this paper. 1) The excitation function of the 99keV γ line was made from 164MeV to 190MeV of the incident energy. 2) A cross bombardment $^{36}\text{Ar} + ^{96}\text{Ru}$ was carried out, from which the same 99keV γ transition was observed. 3) The nuclear potential-energy-surface (PES) of ^{129}Pm was calculated by using the Woods-Saxon Strutinsky method. The ground state spin and parity of ^{129}Pm was then predicted to be $5/2^-$. This prediction leads to a $5/2^-$ low-lying state in the daughter nucleus ^{129}Nd via the $(\text{EC} + \beta^+)$ decay of ^{129}Pm favorably.

Key words proton drip line, excitation function, Cross reaction, Woods-Saxon Strutinsky method, nuclear potential energy surface

Received 9 July 2004

* Supported by the National Natural Science Foundation of China (10375078, 10175002), the Chinese Academy of Sciences, the Major State Basic Research Development Program (G2000077402)

1) E-mail: xsw@ns.lzb.ac.cn