

^{143}Pm 高自旋态研究*

何建军 张玉虎 郭应祥 周小红 雷相国 黄文学
冯希臣 张双全 徐 啸 刘 忠 罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

温书贤 吴晓光 袁观俊

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 通过熔合蒸发反应 $^{128}\text{Te}(^{19}\text{F}, 4n\gamma)$ 布居了 ^{143}Pm 的高自旋态,利用在束 γ 谱学方法,对 ^{143}Pm 的高自旋态核结构进行了研究.测量了 γ 射线单谱和 γ - γ 符合谱,并进行了 γ 射线各向异性以及DCO比率分析,建立了激发能高达10535.4keV的能级纲图,其中包括新发现的32条 γ 射线和17个新能级.用弱耦合模型对 ^{143}Pm 的晕态能级结构进行了解释.

关键词 各向异性 DCO比率 能级纲图 弱耦合模型

1 引言

弱耦合模型在解释奇A核的晕态能级结构方面是一个比较有用的工具^[1].在 $Z = 64, N = 82$ 核区,许多奇A核晕态能级结构显示出一种规律性,表现为其 J^π 值和能级间隔类似于相邻偶偶核的晕态能级,这表明价核子与偶偶核实之间的耦合作用可能比较弱,价核子很少或不参与核实激发.在弱耦合模型框架下, ^{143}Pm 可以看作是由一个价质子加上 ^{142}Nd 核实,或者是由一个价质子空穴加上 ^{144}Sm 核实构成.因此, ^{143}Pm 高自旋态数据可以用来检验弱耦合模型在这一质量区的适用性.

在本工作以前,实验上已经建立了 ^{143}Pm 核直到 $J^\pi = (47/2^+)$, $E_x = 8397.6\text{keV}$ 的能级纲图^[2-4],并在壳模型的基础上对其能级纲图进行了讨论.同时,Aziz等人利用弱耦合模型对 ^{143}Pm 能级结构亦进行了详细的研究^[5].他们发现壳模型能够很好地解释低位态的能级,这些低位态能级是由处于 $1g_{7/2}, 2d_{5/2}, 1h_{11/2}, 2d_{3/2}$ 以及 $3s_{1/2}$ 子壳层的粒子或空穴激发形成的.此外,利用弱耦合模型也可以定性地解释这些能级.

2000-08-30 收稿

* 国家自然科学基金(19675052, 19605008, 19635030 19705011),中国科学院“百人计划”,95重大项目(KJ95T-03)和国家重大基础研究发展方案973(G2000077400)资助

2 实验测量及能级纲图的建立

本实验通过熔合蒸发反应 $^{128}\text{Te}(^{19}\text{F}, 4n\gamma)^{143}\text{Pm}$ 来布居 ^{143}Pm 的高自旋态,束流能量为82 MeV.靶子为厚度 $2.2\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 ^{128}Te 金属同位素薄靶,并附有 $2.3\text{mg}/\text{cm}^2$ 厚的金衬.束流由中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器提供.

实验中,用在束 γ 谱学技术,包括激发函数、 γ 射线单谱、退激 γ 射线的角关联(DCO比率)以及 γ - γ 符合测量,对 ^{143}Pm 高自旋态的退激 γ 射线进行了研究.本实验用10个带BGO康普顿抑制的高纯锗(HPGe)探测器进行了测量.其中4个HPGe探测器置于相对于束流方向约 90° 的方向上,其余的探测器则置于相对于束流方向约 40° 的方向上.用 ^{60}Co , ^{133}Ba 和 ^{152}Eu 标准放射源进行了能量和效率刻度,对 ^{60}Co 的1.33 MeV γ 射线,探测器的能量分辨(FWHM)在2.0—2.5 keV之间.

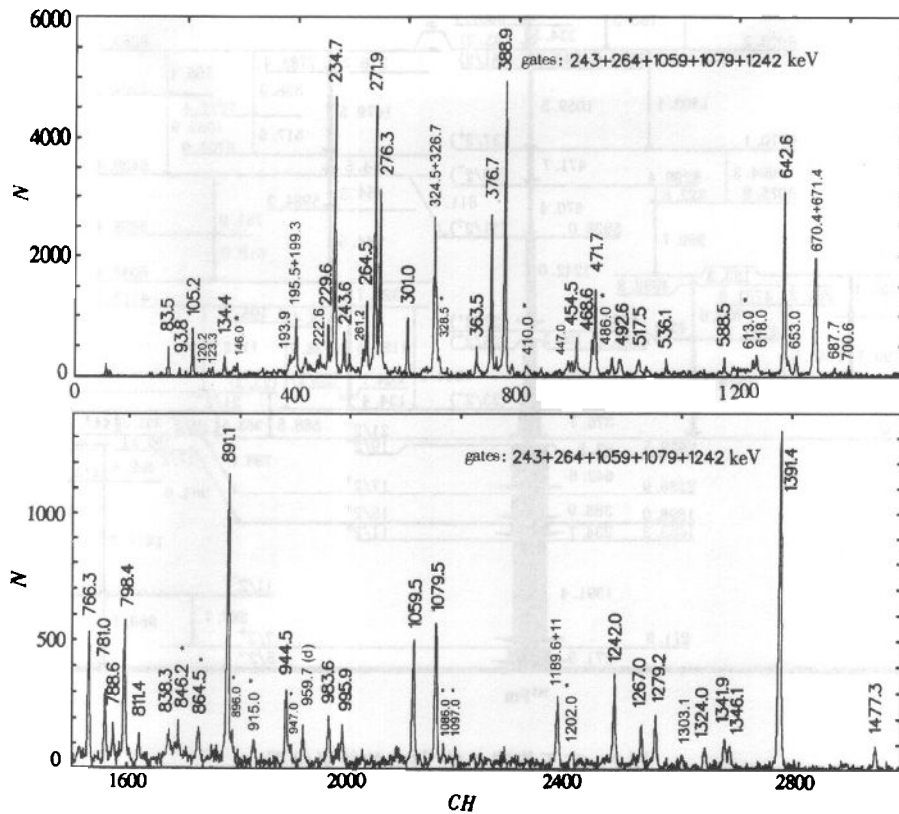


图1 ^{143}Pm γ - γ 符合的加和谱

标记*的 γ 射线是属于 ^{143}Pm 核的,但未放到纲图中;标记d的为双峰.

在 CASCADE 程序计算的基础上,激发函数测量的束流能量范围选定在75—95 MeV之间,并以5 MeV为步长变化,发现在束流能量为82 MeV情况下, ^{143}Pm 的产额达到最大.以此炮弹能量完成了 γ - γ 符合测量,符合时间窗为500 ns.实验中,两重和更高重符合事

件总共获取了 2×10^8 个. 对各个探测器进行增益归一后, 实验数据放入一个 4096×4096 的两维矩阵之中用于 $\gamma-\gamma$ 符合分析. 为了建立 ^{143}Pm 的能级纲图, 对所有探测到的 γ 射线进行投影, 并仔细分析了它们的开门谱. 在开门时, 符合时间窗取为 50ns. 图 1 显示了用 243.6, 264.5, 1059.5, 1079.5 和 1242.0keV γ 射线开门得到的加和谱, 从中可以看到 ^{143}Pm 能级纲图中绝大多数比较强的 γ 射线. 基本 $\gamma-\gamma$ 符合关系, 强度平衡, 交叉跃迁以及 γ 射线相对激发函数的信息, 本工作建议了包括 32 条新 γ 射线及 17 个新能级, 激发能达到 10535.4keV 的能级纲图, 如图 2 所示. 可以看出, 纲图中低于 4386.0keV 能级的部分与以前的结果^[2,3] 是基本符合的.

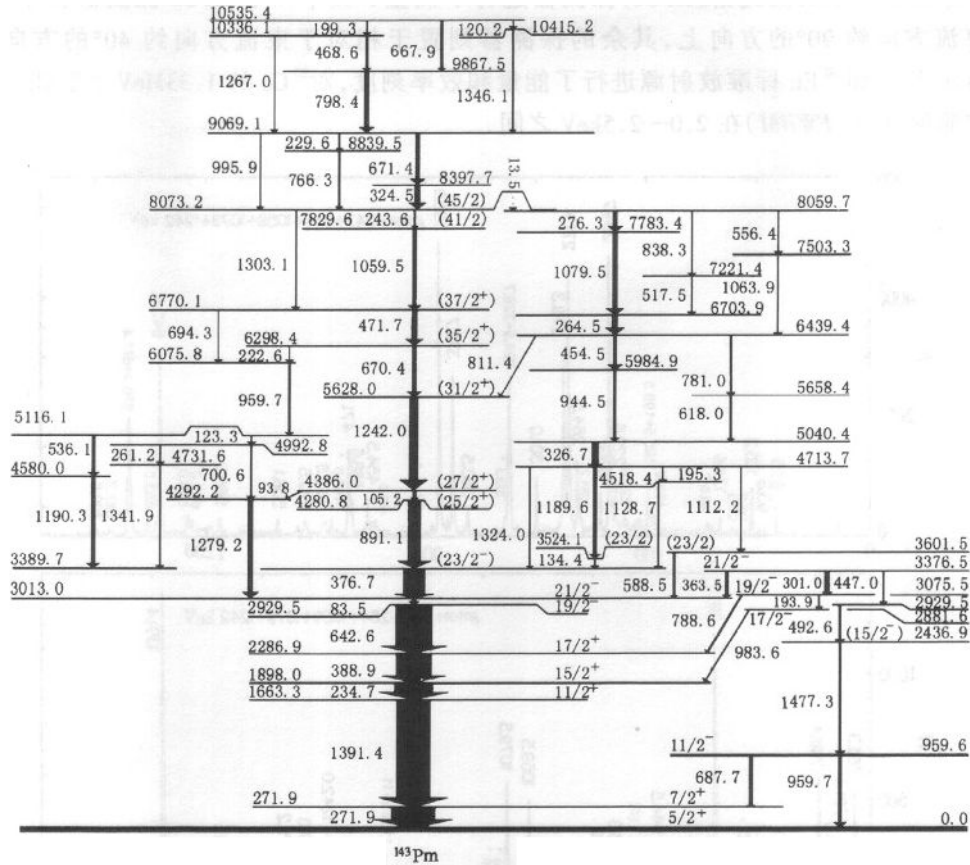


图 2 本工作建立的 ^{143}Pm 的能级纲图

在 ^{143}Pm 的能级纲图中, 1059.5, 1242.0 和 1279.2keV γ 射线的统计比较强, 对它们进行各向异性分析, 结果表明它们具有四极跃迁 ($\lambda = 2$) 特性, 用 1242.0keV γ 射线对 DCO 矩阵进行开门, 得到的 243.6, 670.4, 93.8, 105.2, 471.1 和 891.1keV γ 跃迁的 DCO 比率分别为 0.69, 0.93, 1.94, 1.60, 1.68 和 1.61, 与用 1059.5keV γ 射线开门所得到的结果在误差范围内基本相符. 显然, 前两个值与后 4 个值存在显著差异, 并可分为两组, 前一组的 λ 值接近 1.0, 后一组值接近于 2.0, 而在以前的工作中, Prade 等^[2,4] 推断出 105.2 和 891.1keV γ 跃迁具有偶极跃迁 ($\lambda = 1$) 的特性, 根据角分布的知识, 可以推断前一组属于四

极跃迁,后一组属于偶极跃迁.结合以前实验中 γ 射线角分布、转换电子测量以及本工作的DCO比率和 γ 射线各向异性的结果,对¹⁴³Pm能级纲图中部分晕态能级进行了自旋指定.在对跃迁强度的定性分析以及实验能级同弱耦合模型计算结果比较的基础上,对新建立的几条晕态能级的宇称进行了尝试性的指定.应该指出的是,在文献[2]中,指定3389.7keV能级为 $J = (21/2)$,但是,根据本工作对376.7keV γ 射线的DCO比率及其各向异性的分析,指定该能级为 $J = (23/2)$ 更合理.另一方面,与之平行的级联跃迁93.8($\lambda = 1$)和1279.2keV($\lambda = 1$) γ 射线的跃迁极性也支持这一指定.上述部分能级结果与Sarmishtha Bhattacharya等人的结果^[4]是一致的.

3 讨论

在¹⁴³Pm能级纲图中,对低于3601.5keV的能级在理论上用壳模型和团簇-振动模型都有详细的分析和计算^[2],并很好地解释了这些单粒子能级.同时,用弱耦合模型也能定性解释大部分晕态能级^[5].Sarmishtha Bhattacharya等人利用大基壳模型OXBASH程序对¹⁴³Pm高自旋能级结构进行了理论研究^[4],能够很好地解释8.4MeV以下的能级结构.本文着重介绍弱耦合模型方法,在弱耦合模型框架下,人们期望¹⁴³Pm的激发能级是由 $d_{5/2}$ 和 $h_{11/2}$ 价质子与¹⁴²Nd核实耦合或 $g_{7/2}$ 价质子空穴与¹⁴⁴Sm核实耦合形成的,而核实同质子(或质子空穴)之间的相互作用可以忽略不计(零级近似).计算时¹⁴³Pm一个态的激发能就等于一个价质子(或价质子空穴)的激发能与相应的核实的激发能之和.本工作利用弱耦合模型物理图象明确、计算简单的特点,对¹⁴³Pm晕态能级做了简单的计算.计算时采用的公式为

$$E_x = E_x^{\text{core}} + E_x^{\text{particle}}.$$

$d_{5/2}$, $h_{11/2}$ 质子态和 $g_{7/2}$ 质子空穴态的激发能已为人们所确定^[6,7],分别为0,960和270keV,同时,人们对核实¹⁴²Nd和¹⁴⁴Sm也做过详细的研究^[8-10],因此,能够用弱耦合模型对¹⁴³Pm晕态能级进行计算.图3显示了用弱耦合模型计算的能谱同实验观察到的晕谱的比较,总的来说,弱耦合模型能够很好地再现¹⁴³Pm高自旋态直到 $J^\pi = (37/2^+)$ 的晕态能级.

在¹⁴³Pm的能级纲图中,能级959.6,2436.9,2929.5和3013.0的能级间隔与¹⁴²Nd核实的 0^+ , 2^+ , 4^+ 和 6^+ 态的能级间隔非常相似,这种相似性反映在弱耦合计算的结果中(如图3).位于3601.5keV能级以下的纲图已为Aziz等人用弱耦合模型进行了详细的讨论^[5],在此不再赘述.正如所预期的那样,由于 $h_{11/2}$ 轨道的高角动量特性,在¹⁴³Pm高自旋晕谱中,主要是 $h_{11/2}$ 质子与相应¹⁴²Nd核实激发态的耦合.

Wirowski等^[7]认为¹⁴²Nd激发态中 $7^- \leq J^\pi \leq 9^-$ 的能级为 $\pi(d_{5/2}^1 h_{11/2}^1)$ 或 $\pi(d_{5/2}^2)_0 \otimes \pi(g_{7/2}^{-1} h_{11/2}^1)$ 质子组态,对于 $10^- \leq J^\pi \leq 14^-$ 的能级,其组态可能是建立在 $\pi(d_{5/2}^2)_0 \otimes \pi(g_{7/2}^{-1} h_{11/2}^1)$ 上的 $\pi(g_{7/2}^{-1} h_{11/2}^1 \otimes d_{5/2}^2)$ 或 $\pi(d_{5/2}^2)_0 \otimes \pi(d_{5/2}^1 h_{11/2}^1) \otimes g_{7/2}^{-2}$ 组态,即激发一个质子穿过 $Z = 64$ 壳隙进入到 $h_{11/2}$ 轨道; $14^+ \leq J^\pi \leq 16^+$ 的能级组态为 $\pi(g_{7/2}^{-2})_0 \otimes \pi(h_{11/2}^2 \otimes d_{5/2}^2)$, $\pi(d_{5/2}^2)_0 \otimes \pi(h_{11/2}^2 g_{7/2}^{-2})$ 或 $\pi(h_{11/2}^2 \otimes d_{5/2}^1 g_{7/2}^{-1})$,即激发两个质子穿过 $Z = 64$ 壳隙进入到 $h_{11/2}$

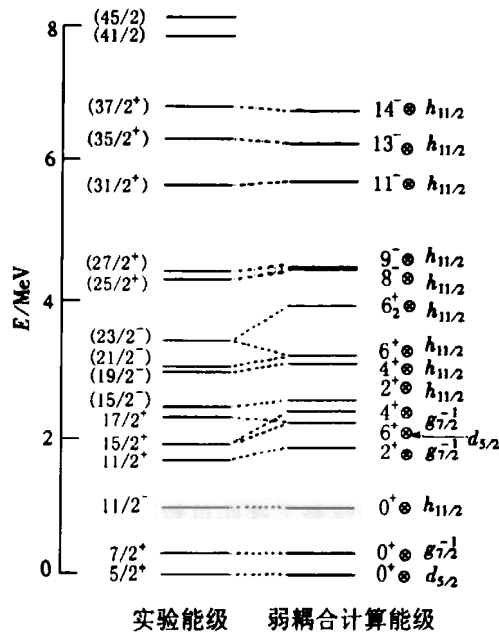


图 3 ^{143}Pm 高自旋态中实验观测能级与零级弱耦合模型计算结果的比较

轨道. 按照 Wirowski 等人的观点, 在用弱耦合模型进行计算时, 自旋为 $(41/2)$ 和 $(45/2)$ 的两个能级不可能通过一个 $h_{11/2}$ 质子与 ^{142}Nd 正宇称态 $(14^+ - 16^+)$ 的耦合产生, 因为在 $h_{11/2}$ 轨道中两个态已被核激发所占据, 因此这种耦合所能得到的最大角动量只有 $39/2 (16^+ \otimes h_{11/2})$. 正是在 $J = (37/2)$ 的能级以上, 弱耦合预言与实验测量值出现相当大的偏离, 这可能是由于 $N = 82$ 中子闭壳被打破, 位于壳下的中子激发到壳隙以上从而参与了核实角动量的形成. 同时, 实验上在 $J = (37/2)$ 能级附近发现了几条高能 γ 跃迁, 这也许支持 $N = 82$ 中子闭壳破碎的假设.

4 小结

本实验建立了 ^{143}Pm 激发能高达 10535.4keV 的能级纲图. 其中, 直到 $J = (37/2^+)$ 的晕态能级可以用弱耦合模型很好地解释. 为了验证弱耦合模型在这一核区的适用性, 需要对新观察到的能级进行确定的自旋宇称指定, 进一步工作有待于将来进行.

感谢北京串列加速器全体工作人员在实验中提供的方便和帮助, 同时对 GSI (Darmstadt, Germany) 靶实验室的工作人员表示感谢.

参考文献 (References)

- 1 De-Shalit A. Phys. Rev., 1961, 122(5):1530—1536

- 2 Prade H, Kübler L, Hagemann U et al. Nucl. Phys., 1980, **A333**(1):33—66
- 3 Kortelahti M, Piiparinen M, Pakkanen A et al. Physica Scripta., 1981, **24**(1):10—16
- 4 Sarmishtha Bhattacharya et al. Phys. Rev., 2000, **C62**:024317-1-024317-11
- 5 Aziz S M, Cottle P D, Kemper K W. Phys. Rev., 1990, **C41**(5): 2432—2434
- 6 Straume O, Lovhoiden G, Burke D G. Z. Phys., 1980, **A295**(3):259—267
- 7 Doll P, Wagner G J, Brenen H et al. Phys. Lett., 1979, **82B**(3,4):357—360
- 8 Wirowski R, Yan J, Dewald A et al. Z. Phys., 1988, **A329**(4):509—510
- 9 Prade H, Döring J, Enghardt W et al. Z. Phys., 1987, **A328**(4):501—502
- 10 Kownacki J. Nucl. Phys., 1972, **A196**(3):498—528

Investigation of High-Spin States in ¹⁴³Pm*

HE Jian-Jun ZHANG Yu-Hu GUO Ying-Xiang ZHOU Xiao-Hong LEI Xiang-Guo
HUANG Wen-Xue FENG Xi-Chen ZHANG Shuang-Quan
XU Xiao LIU Zhong LUO Yi-Xiao

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

WEN Shu-Xian WU Xiao-Guang YUAN Guan-Jun

(*China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China*)

Abstract High-spin states in ¹⁴³Pm have been investigated via the ¹²⁸Te(¹⁹F, 4n γ) ¹⁴³Pm reaction using techniques of in-beam γ -spectroscopy. γ -ray singles, γ - γ coincidences, γ -ray anisotropies and *DCO* ratios have been measured. Based on these measurements, the level scheme of ¹⁴³Pm has been extended up to excitation energy of 10535.4keV including 32 new γ rays deexciting of 17 new levels. The yrast levels in ¹⁴³Pm can be understood qualitatively in the framework of a weak-coupling model.

Key words anisotropy, *DCO* ratio, level scheme, weak-coupling model

Received 30 August 2000

* Supported by NSFC (19675052, 19605008, 19635030, 19705011), 100 Persons Project of CAS, 95 Significant Project (KJ95T-03) of CAS, and Major State Basic Research Development Program Under Contract Number (G2000077400)