

^{83}Sr 的衰变及其子体能带结构的讨论*

沈水法^{1,2,1)} 余笑寒²

1 (中原工学院数理系 郑州 450007)

2 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 ^{83}Rb 的低能低自旋部分通过 ^{83}Sr 的放射性衰变进行了研究. 建立了衰变纲图, 对一些能级基于新的 $\log ft$ 值和 γ 分支比给出了自旋-宇称指定. 为了对这个核的能级结构进行讨论, 将投影壳模型应用到核 ^{83}Rb , 对激发的正宇称晕带和负宇称基态带理论计算与实验结果进行了比较, 此模型能很好地再现实验结果. 此外, 为了从定量的结果抽取出物理内涵, 给出了计算的负宇称基态带的带图.

关键词 投影壳模型(PSM) 晕带 四极形变 能带图

1 引言

缺中子核 ^{83}Rb 在未满壳里有几个质子和中子, 该核建立起一个相当复杂的激发态能级结构. 任何基于已知核子耦合图象的简单模型都未能描述该核. 质子和中子占据相同轨道的可能性可能使情形更加复杂化因为短程质子-中子相互作用预期变得很重要.

$A = 80$ 附近的核自它们建立起丰富的核结构信息以来已经用 γ 谱学方法进行了广泛的研究. Gast 等在 1980 年用在束 γ 谱学方法对 ^{83}Rb 高自旋能级纲图进行了研究^[1]. 在他们的工作中, 发现了一个建立在自旋 $9/2^+$ 、能量 42.3 keV 同质异能态上的延伸自旋带, 一个带头为 $5/2^-$ 的基态准粒子带, 和一个三准粒子带. 与此同时对 ^{83}Rb 的正宇称(正宇称和负宇称)态用一个非轴对称(轴对称)转子模型进行了计算并与实验数据进行了比较. 最近 Döring 等人对 ^{83}Rb 进行了在束研究^[2], 目的是为了探索高自旋带的头和在 $Z = 40$ 间隙以下 $N = 46$ 核的集体性和形状变化.

低自旋低激发能态的详细信息可采用紧跟着放射性衰变的 γ 射线(内转换电子)谱获得. ^{83}Sr ($T_{1/2} = 32.41\text{h}$) 的 $\beta^+ + \text{EC}$ 衰变提供了一个获得 ^{83}Rb 低能态信息的极好方法. 在过去 Etherton 等^[3], Broda 等^[4] 和 Grütter^[5] 研究过 ^{83}Sr 的衰变. 由于 γ 射线能量分辨率差、统计性差和缺乏足够的符合数据使得衰变纲图中存在许多不一致之处^[6]. 这样就有再研究 ^{83}Sr

衰变的必要. 因为现在可以提供更好的探测仪器, 这给重新研究 ^{83}Sr 衰变提供了可能性. 也是为了改善其子体 ^{83}Rb 低能级纲图和与高自旋能级联系的需要^[1,2]. 我们做了这个衰变的再测量, 初步的实验结果已另外报道^[7].

2 理论预言及与实验结果的比较

本工作中 ^{83}Rb 核的能级纲图在投影壳模型框架下进行了解释, 首先采用四点公式计算能隙参数 Δ_p 和 Δ_n ^[8], 这里核的总结合能值 B 取自文献^[9]. 结果是 $\Delta_p = 1.8\text{MeV}$ 和 $\Delta_n = 1.08\text{MeV}$. Nilsson 势中出现的参数 κ 和 μ 取自张敬业等人的工作^[10], 是在 Bengtsson 和 Ragnarsson^[11] 工作基础上的一个改版. 根据对正宇称态的总转动动能面(Total Routhian Surface (TRS))计算^[2], 在非常低频率时 ^{83}Rb 核为微弱形变和极 γ 软性, 其四极形变大约为 $\beta_2 = 0.13$ (相当于 $\varepsilon_2 = 0.117$), 三轴形变 $\gamma = +17^\circ$. 在转动频率为 0.486 MeV 时(大约对应于 $23/2^+$), 第二个极小值出现, 为接近于扁椭球的中等形变, 其形变参数为 $\beta_2 = 0.25$ (相当于 $\varepsilon_2 = 0.225$) 和 $\gamma = -66^\circ$. 这第二个极小值一直存留到高转动频率. 所以分别取四极形变参数 $\varepsilon_2 = 0.117$ ($5/2^+ \leq I < 23/2^+$) 和 $\varepsilon_2 = -0.225$ ($I \geq 23/2^+$) 来计算正宇称晕带. 十六极形变参数 $\varepsilon_4 = 0.007$ 取自 Möller 等人的编评^[9]. 在

* 国家重点基础研究发展规划项目(TG2000077404)和国家自然科学基金(10405031, 10475026)资助

1) E-mail: ssh@sinap.ac.cn

计算中组态空间由选取中子(质子) $N=4$ 主壳接近费米能的准粒子态构筑而成, 并由它们形成多-准粒子态. 应该指出 $5/2^+ \leq I \leq 23/2^+$ 区间计算值与 $I \leq 23/2^+$ 区间计算值连接方式如同文献[12]的图7. 实验观测得到的 ^{83}Rb 正宇称晕带能级和投影壳模型的预言的比较示于图1中. $5/2^+$, $7/2^+$, $9/2^+$, $11/2^+$ 和 $13/2^+$ 的实验值取自我们组的测量^[7], 其余部分取自Döring等人的在束研究^[2]. $21/2^+$ 能态以上实验和理论值的很好一致说明 ^{83}Rb 中 $g_{9/2}$ 中子对的顺排把核从接近于长椭球的微弱形变拉到接近于扁椭球的中等形变. 相对低位态($5/2^+ \leq I < 23/2^+$)的重现并不是很令人满意, 这是因为我们目前的计算程序假定 ^{83}Rb 是轴对称的. 但仍然发现计算和实验的能级次序相符, 特别是 $5/2$, $7/2$, $9/2$ 这三条反常耦合能级的次序. 从计算中, 可以预言能级 $1/2^+$ 和 $3/2^+$ 位于能级 $11/2^+$ 和 $17/2^+$ 之间, 能级 $19/2^+$ 在能级 $21/2^+$ 之上. 期望将来的实验能证实它.

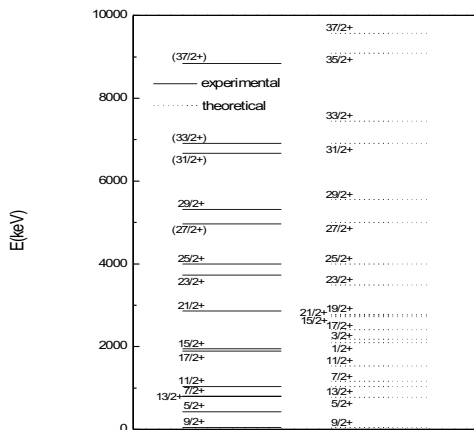


图1 投影壳模型计算所得 ^{83}Rb 正宇称晕带及与实验数据的比较

在对负宇称基态带的计算中, 组态空间由选取中子(质子) $N=4$ ($N=3$) 主壳接近费米能的准粒子态构筑而成, 并由它们形成多-准粒子态. 对负宇称基态带(其中 $5/2^-$ 至 $13/2^-$ 能级是晕态)的计算看来也用 $\varepsilon_2 = 0.117$ 能最好地再现实验结果. 该带的相邻能级差 $E(I) - E(I-1)$ 的理论值与实验结果的比较示于图2中, $5/2^-$, $7/2^-$ 和 $9/2^-$ 能级的实验值取自我们组的测量^[7], 其余取自文献[1]. 用四极形变参数 $\varepsilon_2 = 0.117$ 和十六极形变参数 $\varepsilon_4 = 0.007$ 所作的计算得出的基态自旋和宇称是 $5/2^-$, 这与实验结果相符. Möller等^[9]用有限程液滴宏观模型和折叠Yukawa单粒子微观模型所作计算得出 ^{83}Rb 基态 $5/2^-$ 是近乎球形的四极形变 $\beta_2 = 0.071$, 但当用此四极形变作计算时, 对负宇称基态带的拟合是很差的.

所以, 本工作试探性地确认 ^{83}Rb 基态带的形变 $\varepsilon_2 = 0.117$, 此与Maharana等^[13]用相对论平均场理论计算结果相同.

实际上在现在的 ^{83}Rb 例子中负宇称带基于 $5/2^-$ 基态, 可以发现中子费米面位于 $1g_{9/2}$ 侵入子壳的 $K=5/2$ 和 $K=7/2$ 准粒子态之间, 而质子费米面位于 $1f_{5/2}$ 子壳的 $K=3/2$ 和 $K=5/2$ 准粒子态之间. 所以这些能级附近的轨道在物理上是极为重要的. 为了构建一个多准粒子基, 选取 $1g_{9/2}$ 侵入子壳所有的中子准粒子态, 从中形成10个中子2-准粒子态. 类似地选取质子 $1f_{5/2}$ 子壳的 $K=3/2$ 和 $K=5/2$ 1-准粒子态. 进而从这些中子2-准粒子态和质子1-准粒子态中构建40个3-准粒子态. 结果组态空间的最终维数变成42(40+2). 壳模型组态空间由投影这些多准粒子态的每一个到一个好的角动量构成, 哈密顿量在这个空间对角化. 能带图示于图3, 该图中的实心圆代表计算的负宇称基态带成员, 它们是最后对角化程序(带混合)得到的^[14], 此也示于图2中. 就是这种图人们可以方便地从定量的结果提取出物理^[15]. 在低自旋区($3/2 \leq I \leq 11/2$)晕态用1-准粒子带描写, 显示在该自旋区域3-准粒子态对晕态没什么影响. $I=1/2$ 态还没有在实验中被确切地观测到, 所以现在的工作中将不去讨论它. 在自旋 $I \approx 11/2$ 处发生第一次带交叉.

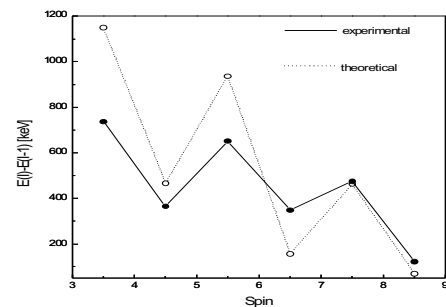


图2 基于基态 $5/2^-$ 的负宇称带(负宇称基态带)相邻能级差的理论值 $E(I) - E(I-1)$ 与实验结果的比较

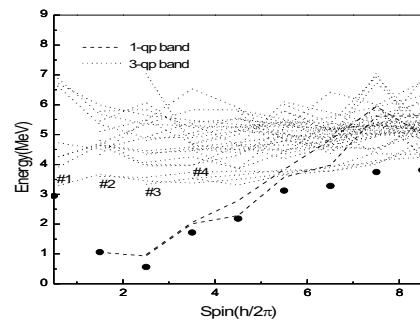


图3 ^{83}Rb 基于 $5/2^-$ 之上的负宇称基态带的能带图这些都是(包括实心圆)投影壳模型的计算结果

现在的情况下有4个紧密布居的3-准粒子带突然与1-准粒子带交叉, $I \geq 15/2$ 以后另外有一些3-准粒子带下来对基于 $5/2^-$ 的负宇称带有贡献,这样一来使结构复杂化. 我们想知道这4个紧密布居的3-准粒子带的组态, 带#3(#2)是 $K_{n_1} = 5/2$ 和 $K_{n_2} = -7/2$ 耦合合成 $K = -1$ 然后与 $K_p = -3/2$ ($K_p = 5/2$)耦合合成总的 $K = -5/2$ ($K = 3/2$)的3-准粒子带; 而带#1(#4)是 $K_{n_1} = 5/2$ 和 $K_{n_2} = -7/2$ 耦合合成 $K = -1$ 然后与 $K_p = 3/2$ ($K_p = -5/2$)耦合合成总的 $K = 1/2$ ($K = -7/2$)的3-准粒子带.

3 结论

在用投影壳模型(PSM)对 ^{83}Rb 能级结构的计算

中, 对正宇称晕带的计算证实了 ^{83}Rb 中 $g_{9/2}$ 中子对的顺排把核 ^{83}Rb 从接近于长椭球的微弱形变拉到接近于扁椭球的中等形变. 预言了能级 $1/2^+$ 和 $3/2^+$ 位于能级 $11/2^+$ 和 $17/2^+$ 之间; 能级 $19/2^+$ 在能级 $21/2^+$ 之上. 对负宇称g. s.带的计算中证实g. s.带的四极形变为 $\varepsilon_2 = 0.117$, 此与Maharana等用相对论平均场理论计算结果相同^[13], 而与Möller等用有限程液滴宏观模型和折叠Yukawa单粒子微观模型所作计算结果有差别^[9]. 用 $\varepsilon_2 = 0.117$ 所作的计算能重现负宇称g. s.带的Signature staggering和基态自旋 $5/2^-$, 还对宇称g. s.带的Signature staggering 来源进行了深刻的探讨.

参考文献(References)

- 1 Gast W, Dey K, Gelberg A et al. Phys. Rev., 1980, **C22**: 469
- 2 Döring J, Johns G D, Kaye R A et al. Phys. Rev., 1990, **C60**: 014314
- 3 Etherton R C, Beyer L M, Kelly W H et al. Phys. Rev., 1968, **168**: 1249
- 4 Broda R, Hryniewicz A Z, Stycze J et al. Nucl. Phys., 1973, **A216**: 493
- 5 Grütter A. Int. J. Appl. Radiat. Isot., 1982, **33**: 456
- 6 Müller J. Nuclear Data Sheets, 1986, **49**: 579
- 7 YU Xiao-Han et al. HEP & NP, 1998, **22**(12): 1082—1091(in Chinese)
- (余笑寒等. 高能物理与核物理, 1998, **22**(12): 1082—1091)
- 8 Aage Bohr, Ben R. Mottelson. Nuclear Structure. New York, Amsterdam: Benjamin, 1969, 169
- 9 Möller P, Nix J R, Myers W D et al. At. Data Nucl. Data Tables, 1995, **59**: 185
- 10 ZHANG Jing-Ye, Larabee A J, Riedinger L L. J. Phys., 1987, **G13**: L75
- 11 Bengtsson T, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1985, **A436**: 14
- 12 Palit R, Jain H C, Joshi P K et al. Phys. Rev., 2001, **C63**: 024313
- 13 Maharana J P, Gambhir Y K. Phys. Rev., 1996, **C54**: 2404
- 14 SUN Yang, Hara K. Comp. Phys. Comm., 1997, **104**: 245
- 15 Hara K, SUN Yang. Int. J. Mod. Phys., 1995, **E4**: 637

Decay of ^{83}Sr and Discussion of Its Daughter's Band Structures*

SHEN Shui-Fa^{1,2;1)} YU Xiao-Han²

1 (Department of Mathematics and Physics, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

2 (Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract The low-energy and low-spin part of the ^{83}Rb nucleus was investigated in radioactive decay of ^{83}Sr . The decay scheme was established and for a number of levels spin-parity assignments are suggested on the basis of $\log ft$ values and γ -branching ratios. In order to discuss the band structures of this nucleus, the projected shell model is applied to the nucleus ^{83}Rb . The results of theoretical calculations about the excited positive-parity yrast states and the negative-parity ground-tate band are compared with experimental data, and the best reproduction of the experiment has been given by this model. In addition, a band diagram calculated for the negative-parity g. s. band is also shown in order to extract physics out of the numerical results.

Key words projected shell model(PSM), yrast state, quadrupole deformation, band diagram

* Supported by Major State Basic Research Development Program (TG2000077404) and National Natural Science Foundation of China (10405031, 10475026)

1) E-mail: ssh@sinap.ac.cn