

特发表。
7.

HE

r", which are
a of the states
valence-nuc-
tal low-lying

F 旋自由度和转动核的能谱

狄尧民 苏耀中

(徐州师范学院)

摘 要

本文从 F 旋破缺的观点出发, 具体地讨论和计算了几个转动核的能谱。计算表明, 用该方案计算的理论和实验符合较好, 特别是它能成功地再现某些核的奇 K 转动带。

一、引 言

相互作用玻色子模型是近年来受到普遍重视的一个研究领域。它存在两种类型: IBM-I 和 IBM-II。IBM-I 不区分中子玻色子和质子玻色子, 而 IBM-II 则加以区分。IBM-II 的物理图象显然较 IBM-I 合理。然而 IBM-I 取得了很大成功, 因此产生了有了 IBM-I 是否还需要 IBM-II, 中子和质子玻色子的可区分性究竟表现在哪里的问题。

另外, 虽然已有文献^[1]从 F 旋对称的角度出发讨论了 IBM-I 和 IBM-II 之间的关系, 但通常的 IBM-II 计算方案中并不采用 F 旋这一概念, 因此 IBM-II 与 IBM-I 之间的关系显得较为模糊。在文献 [2] 中, 我们用 F 旋对称和破缺的观点讨论了 IBM-II 和 IBM-I 之间的联系和区别, 并提出了定量地处理 F 旋破缺的计算方法, 其实质是 IBM-II 的一种新的计算方案。

本文用文献 [2] 的方案, 并考虑到玻色子之间的有效相互作用的强度与 F 旋有关, 具体地计算了几个偶偶核的转动能谱。计算表明, 用该方案计算的理论和实验符合较好, 特别是它能成功地再现某些核的奇 K 转动带。

二、 1^+ 能级和 F 旋自由度

在 IBM-I 中, 正宇称集体态与 $U(6)$ 的全对称表示 $\{N\}$ 相应, 这里 N 为总玻色子数。在 $SU(3)$ 极限情形, 它并不存在 K 为奇数的带, 也不存在 1^+ 能级。在 IBM-II 中, 如系统具有 F 旋对称性, 则除了全对称表示的态, 还有非全对称表示的相应的态。 F 旋越大, 对称程度越高, 则能量就越低。IBM-I 是 IBM-II 考虑了 F 旋对称后的低能极限。因为我们感兴趣的是能量较低的态, 因此除了 $U(6)$ 全对称表示 $\{N\}$ 外, 我们主要考虑非全对称

表示 $\{N-11\}$ 。在 $SU(3)$ 极限情形下, $\{N-11\}$ 包括奇 K 能带, $K^\pi = 1^+$ 为其最低能带, 故该表示中最低能级为 1^+ 。因此具有集体性的 1^+ 能级以及 $K^\pi = 1^+$ 的带应是 F 旋自由度的重要标志。

在中重核和重核转动区的许多核素中已发现有 1^+ 能级。在 $A = 150$ 左右, 1^+ 能级在 2MeV 附近。随着 A 的增加, 1^+ 能级还有所降低。在重核, 1^+ 能级更低, 例如 ^{238}U 的 1^+ 能级在 1MeV 附近。并发现一些核素有 $K^\pi = 1^+$ 的带^[3]。另外, 由 (n, γ) 反应, 在 2MeV 附近发现 ^{156}Gd 有三个靠得很近的 1^+ 带^[4], 对它们性质的研究已引起了广泛的注意。

F 旋虽在形式上与同位旋类似, 但这一概念并没有同位旋那样基本。偶偶核同量异位素的低集体激发态具有相同的 F 旋, 然而其总结合能以及能谱均有差异。事实上, 这些态的同位旋量子数是不同的。因此并不存在着相应的 F 旋多重态或 F 旋相似态。因此 F 旋对称性只能近似成立, 考虑 F 旋破缺是必要的。另外, 不同 F 旋的态, 不仅在系统对称性方面有区别, 在相互作用强度方面可能也有差异。 ^{156}Gd 的奇 K 带靠得很近, 其他核素也有类似现象, 这说明 $F = F_{\max}$ 的态和 $F = F_{\max} - 1$ 的态玻色子之间的有效相互作用有较大差异。

三、计算和讨论

现在我们采用如下哈密尔顿来计算能谱

$$H = H_F + H', \quad (1)$$

$$\text{其中} \quad H_F = aC_{2U6} + \alpha(F)C_{2SU3} + \beta C_{2SO3}. \quad (2)$$

C_{2U6} 、 C_{2SU3} 、 C_{2SO3} 分别为 $U(6)$ 、 $SU(3)$ 、 $SO(3)$ 群的二次 Casimir 算符, 其本征值已由文献[5]给出, 该哈密尔顿具有 $U(6) \supset SU(3) \supset SO(3)$ 群链的对称性, 相应的态其 F 旋为好的量子数。我们这里与文献[1]、[5]的差别在于参数 α 与 F 旋有关, 这反映不同 F 旋态玻色子之间有效相互作用的差异。

H' 为 F 旋破缺项。其具体形式为

$$\begin{aligned} H' &= H'_1 + H'_2 \\ &= \tilde{x}'_1(X^+\tilde{Z} + Z^+\tilde{X})^{(0)} + \tilde{x}'_2(Y^+\tilde{Z} + Z^+\tilde{Y})^{(0)}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{其中} \quad X_M^\pm &= (s_\nu^\dagger d_\pi^\pm + d_\nu^\dagger s_\pi^\pm)_M^{(2)} - \frac{2}{\sqrt{7}}(d_\nu^\dagger d_\pi^\pm)_M^{(2)}, \\ Y_M^\pm &= (s_\nu^\dagger d_\pi^\pm + d_\nu^\dagger s_\pi^\pm)_M^{(2)} + \sqrt{7}(d_\nu^\dagger d_\pi^\pm)_M^{(2)}, \\ Z_M^\pm &= (s_\nu^\dagger d_\pi^\pm - d_\nu^\dagger s_\pi^\pm)_M^{(2)}, \\ \tilde{X}_M &= (-1)^M(X_M^\pm)^\dagger, \tilde{Y}_M = (-1)^M(Y_M^\pm)^\dagger, Z_M = (-1)^M(Z_M^\pm)^\dagger \end{aligned} \quad (4)$$

H' 对不同 F 旋态之间的矩阵元已由文献[2]的(23)式给出, 其它有关矩阵元也由类似的方法算出。

现在我们来考虑两个具有典型 $SU(3)$ 特性的核素: ^{238}U 和 ^{156}Gd 。我们先用(2)式的 H_F 来计算 ^{238}U 的能谱。选取参数 $a = 146\text{keV}$, $\alpha(F_{\max}) = 8.56\text{keV}$, $\alpha(F_{\max} - 1) =$

0.05
表示
和?

行计

选取

$x_2 =$

果与

破缺

混合

以近

这一

确有

$K^\pi =$

改进

的实

尔勒

选取

10.5

$\beta =$

值系

了

中真

K^π

[4]

六相

缺,

之]

升

结果

和(

1^+ 为其最
 1^+ 的带应

右, 1^+ 能级
如 ^{238}U 的
(γ) 反应, 在
了广泛的注

偶核同量异
[实上, 这些
态. 因此 F
生系统对称
, 其他核素
有效相互作

本征值已
立的态其 F
反映不同 F

$\mu(Z^{\pm}_M)^{\pm}$
由类似的

(2) 式的
 $x-1$

$0.07\alpha(F_{\max})$, $\beta = 3.6\text{keV}$, 理论值和实验值的比较如图 1 所示. 实验谱中细线条的能级表示其集体性有待进一步验证. 从图可看出, 理论和实验符合较好, 并且除了基带、 β 带和 γ 带外, 其他的带是 IBM-I 无法处理的.

为了进一步改进理论和实验的符合程度, 我们考虑 F 旋破缺, 即采用如下哈密尔顿进行计算

$$H = aC_{2U6} + \alpha(F)C_{2SU3} + \beta C_{2SO3} + H'_2, \quad (5)$$

选取 $a = 144.9\text{keV}$, $\alpha(F_{\max}) = 8.53\text{keV}$, $\alpha(F_{\max} - 1) = 0.07\alpha(F_{\max})$, $\beta = 3.6\text{keV}$, $x'_2 = 90\text{keV}$ 来计算. 参数 x'_2 和 (3) 式中 x'_2 有关, 具体意义见文献 [2] 的 (23) 式. 计算结果与实验值的比较如图 2 所示. 引进 F 旋破缺项, 不同 F 旋之间的态将发生混合, 但混合程度一般是较小的, F 旋量子数仍可以近似地看作好的量子数, 图中仍注出了这一量子数. 考虑了 F 旋破缺, 符合程度确有改进. 主要表现 $F = 13/2$ 的态中, $K^\pi = 1^+$ 和 $K^\pi = 0^+$ 的带相对位置有了改进. 为了便于比较, 图 3 画出这一部分的实验谱和二次计算谱.

现在我们来考虑 ^{156}Gd , 采用如下哈密尔顿:

$$H = aC_{2U6} + a_1C_{1U5} + \alpha(F)C_{2SU3} + \beta C_{2SO3} + H'_2, \quad (6)$$

选取 $a = 90\text{keV}$, $a_1 = 50\text{keV}$, $\alpha(F_{\max}) = 10.9\text{keV}$, $\alpha(F_{\max} - 1) = 0.15\alpha(F_{\max})$, $\beta = 6.4\text{keV}$, $x'_2 = 670\text{keV}$ 来计算. 理论值和实验值的比较如图 4 所示. 图中画出了 $F = 5$ 中带首最低的前四个带. 其中最后一个带为 $K^\pi = 1^+$, 与实验谱中 $K^\pi = 1^+$ (2187keV) 相应, 而该带为文献 [4] 所给出的带首最高的正宇称带.

实验谱中 $K^\pi = 0^+$ (1168keV) 带和 $K^\pi = 4^+$ (1510keV) 的带, 分别为对振动态和十六极运动态, 可分别用 s' 玻色子和 g 玻色子处理 [7], 故我们这里未加考虑. 由于 F 旋破缺, 理论谱中原属 $F = 5$ 的 $(2N - 42)$ 表示中的 $K^\pi = 2^+$ 带已上升到 $K^\pi = 1^+$ 带之上, $(2N - 63)$ 表示中的 $K^\pi = 3^+$ 的带, 其带首已较 1^+ 高, 考虑了 F 旋破缺后又有升高. 故 F 旋破缺似乎有“滤去” $F = 5$ 的部分带的作用. 由图可以看出理论值和实验结果符合较好, 特别是它能成功地再现三个彼此靠得很近的 $K^\pi = 1^+$ 的带.

引入 g 玻色子也能产生奇 K 带, 在转动极限情形下, 其第一个 $K^\pi = 1^+$ 的能带在 0^+ 和 0^+ 之间.

在 F 旋对称的情况下, 具有不同 F 旋值的态之间的跃迁是禁戒的, 考虑了 F 旋的破缺

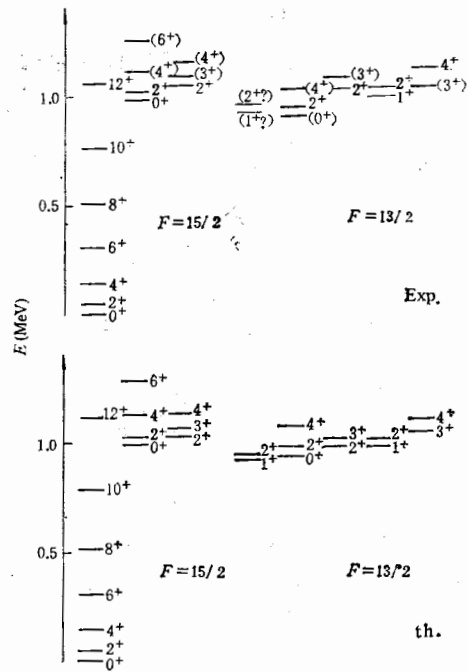


图 1 ^{238}U 理论谱与实验谱比较 (I)
实验数据取自文献 [6], $N = 15$. 实验谱中细线表示能级的集体性有待验证.

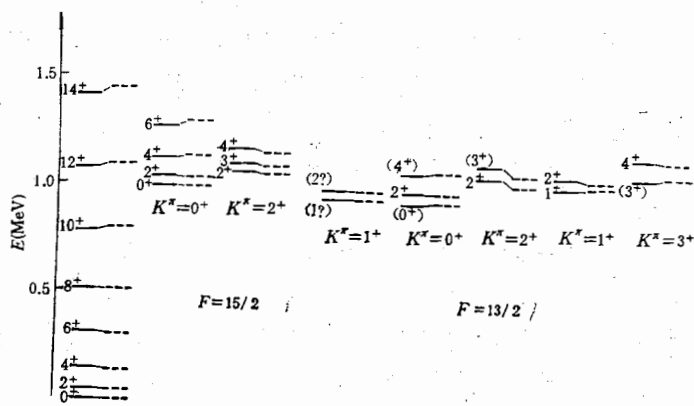


图 2 ²³⁸U 理论谱与实验谱比较 (II) ———Exp. ———th.

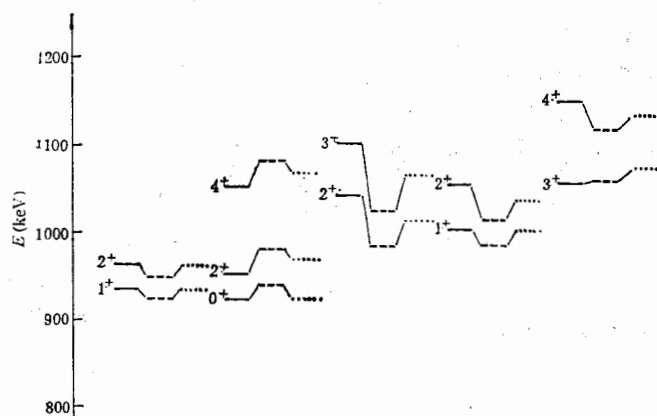


图 3 ²³⁸U 理论谱与实验谱比较 (III)——F = 13/2 部分。理论谱 (I) 为无破缺情形, 理论谱 (II) 为考虑了 F 旋破缺情形。——Exp. ———Th. (I)Th. (II)

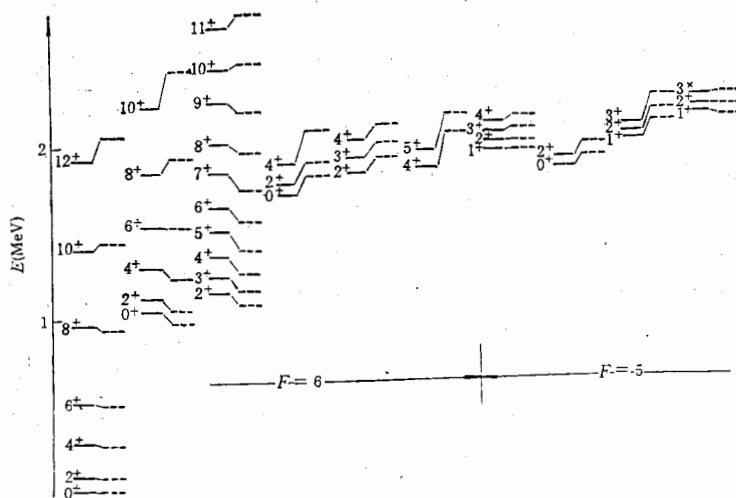


图 4 ¹⁹⁸Gd 理论谱与实验谱比较。实验数据取自文献[4], N = 12. Exp.—— th.---

即可计
跃迁几
下,跃

得出了

鉴于现
作

- [1] A.
- [2] 狄
- [3] N
- [4] A.
- [5] 孙
- [6] N
- [7] P.
- [8] P.

TJ

In
well req
ree of i

即可计算相应的跃迁。因此讨论与 1^+ 集体能级有关的 $M1$ 跃迁是重要的。 F 旋破缺对跃迁几率的影响来自两个方面: 态的破缺和跃迁算符的破缺。在态的破缺较小的情况下, 跃迁算符的破缺较为重要。P. Van Isacker 等人^[8]采用如下 $M1$ 跃迁算符

$$T(M1) = (3/4\pi)^{1/2}(g_y L_y + g_x L_x), \quad (7)$$

得出了在 $SU(3)$ 极限情形 $B(M1; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+)$ 的表达式为

$$B(M1; 0_1^+ \rightarrow 1_1^+) = \frac{3}{4\pi} \frac{8N_y N_x}{(2N-1)} (g_y - g_x)^2. \quad (8)$$

鉴于现在尚无足够的实验数据, 我们这里就不作进一步讨论。

作者感谢周孝谦教授的支持和有益讨论。

参 考 文 献

- [1] A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello & T. Talmi, *Phys. Lett.*, **66B**(1977), 205.
- [2] 狄尧民, 高能物理与核物理, **9**(1985), 461.
- [3] Nuclear Data Sheets, **19**(1976), 383.
- [4] A. Backlin et al., *Nucl. Phys.*, **A380**(1982), 189.
- [5] 孙洪洲, 韩其智, 陈学俊, 张玫, 中国科学, (**A**), (1982), 818.
- [6] Nuclear Data Sheets, **38**(1983), 277.
- [7] P. Van Isacker et al., *Nucl. Phys.*, **A380**(1982), 383.
- [8] P. Van Isacker et al., *Phys. Lett.*, **144B**(1984), 1.

THE DEGREE OF FREEDOM OF F-SPIN AND NUCLEAR ROTATIONAL SPECTRA

DI YAO-MIN SU YAO-ZHONG

(Xuzhou Teachers College, Xuzhou)

ABSTRACT

In this paper, some rotational spectra are discussed through the F -spin breaking, which can well reproduce odd K bands in some nuclei. These bands may be the manifestation of the degree of freedom of F -spin.