

# $^{40}\text{Ca} \pm 1$ 核的 $l$ -禁戒 $M1$ 跃迁和有效 $g$ 因子

李祝霞 张锡珍

(中国科学院原子能研究所)

## 摘 要

用  $^{40}\text{Ca}$  区域的有效  $g$  因子计算了  $^{40}\text{Ca} \pm 1$  核的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁强度。结果解释了  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  的异常大的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁强度。对  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  和  $^{39}\text{Ca}$ ,  $^{41}\text{Ca}$  的跃迁强度的差别作了定性的解释。

$M1$  跃迁算符:

$$\mu(M1) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} (g_s \mathbf{s} + g_l \mathbf{l}), \quad (1)$$

对于  $\Delta l \neq 0$  的跃迁是禁戒的。但是实验上可观测到  $\Delta l \neq 0$  的  $M1$  跃迁强度, 这就是  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁。  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁强度来自于核实极化效应和介子交换流的效应<sup>[1]</sup>。核实极化效应可用下列两图来表示: (a) 图给出了一级微扰的贡献, (b) 图给出了二级微扰的贡献。  $^{40}\text{Ca}$  是一个  $l + \frac{1}{2}$  和  $l - \frac{1}{2}$  都填满的核, 一级微扰即过程(a)应该是严格禁戒的, 所以预期  $^{40}\text{Ca} \pm 1$  核的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁应比其他远离满壳的核弱得多。但最近的实验表明  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  的跃迁强度与其邻近的核相比是同一量级或更大一些<sup>[2,3]</sup>, 下列

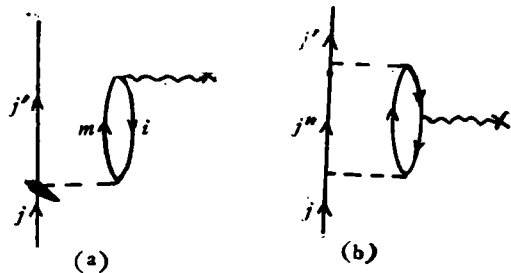


图 1

图<sup>[2]</sup>给出了在  $sd$  壳核的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁的系统学, 对于  $sd$  中子壳  $^{41}\text{Ca}$  的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁正好处于极小。与此相反, 质子壳在满壳附近  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁很强。甚至比其邻近核的更强。看来不能把  $^{40}\text{Ca}$  看成一个好的双满壳。

$^{40}\text{Ca}$  的异常强的  $M1$  跃迁同样不能用  $^{40}\text{Ca}$  双满壳的壳模型计算来解释, 在把  $^{40}\text{Ca}$  作为一个开壳核的壳模型计算时理论和实验得到了较好的符合<sup>[5]</sup>, 对于  $sd$  壳的磁多极矩的计算说明, 对于  $sd$  壳上半壳引入有效  $g$  因子是很必要的<sup>[4]</sup>。所以研究  $^{40}\text{Ca} \pm 1$  核的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁对于进一步了解  $^{40}\text{Ca}$  附近核的结构和有效  $g$  因子是很有意义的。

在考虑了核实极化及介子交换流的效应后,  $M1$  跃迁算符成为<sup>[1]</sup>:

$$\mu(M1) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} (g_s^{\text{eff}} + g_l^{\text{eff}} + g_p[\sigma Y_2]^\dagger), \quad (2)$$

$g_s^{\text{eff}}, g_l^{\text{eff}}, g_p$  是考虑了一级, 二级及高级项的总的贡献之后得到的有效  $g$  因子, 它们可以从实验数据唯象地确定.

利用  $^{41}\text{Ca}(f_{7/2}), ^{43}\text{Sc}(\frac{19^-}{2}), ^{41}\text{Sc}(f_{7/2}), ^{42}\text{Ca}(6^+)$  的实验数据可以近似地定出:  $g_s^{\nu, \text{eff}} = -2.59, g_l^{\nu, \text{eff}} = -0.117, g_s^{\pi, \text{eff}} = 4.26, g_l^{\pi, \text{eff}} = 1.117, g_p^{\nu} = 0.385, g_p^{\pi} = -0.385$ , 由于计算条件的限制, 我们仍取  $^{40}\text{Ca}$  作为满壳,  $^{39}\text{Ca}(\frac{1^+}{2}), ^{39}\text{Ca}(\frac{3^+}{2}), ^{39}\text{K}(\frac{1^+}{2}), ^{39}\text{K}(\frac{3^+}{2}), ^{41}\text{Ca}(\frac{1^+}{2}), ^{41}\text{Ca}(\frac{3^+}{2}), ^{41}\text{K}(\frac{1^+}{2}), ^{41}\text{K}(\frac{3^+}{2})$  的波函数分别为

$$\psi\left(^{39}\text{Ca}\left(\frac{1^+}{2}\right)\right) = |s_{1/2}^{-1}\rangle, \quad (3)$$

$$\psi\left(^{39}\text{Ca}\left(\frac{3^+}{2}\right)\right) = |d_{3/2}^{-1}\rangle, \quad (4)$$

$$\psi\left(^{39}\text{K}\left(\frac{1^+}{2}\right)\right) = |s_{1/2}^{-1}\rangle, \quad (5)$$

$$\psi\left(^{39}\text{K}\left(\frac{3^+}{2}\right)\right) = |d_{3/2}^{-1}\rangle, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \psi\left(^{41}\text{K}\left(\frac{1^+}{2}\right)\right) &= b_0 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^0 s_{1/2}^{-1}(\pi), \frac{1}{2} \right\rangle \\ &+ b_1 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{1}{2} \right\rangle, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \psi\left(^{41}\text{K}\left(\frac{3^+}{2}\right)\right) &= a_0 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^0 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \right\rangle \\ &+ a_1 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 s_{1/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \right\rangle \\ &+ a_2 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \right\rangle, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \psi\left(^{41}\text{Ca}\left(\frac{1^+}{2}\right)\right) &= c_0 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^0 s_{1/2}^{-1}(\nu), \frac{1}{2} \right\rangle \\ &+ c_1 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 d_{3/2}^{-1}(\nu), \frac{1}{2} \right\rangle, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \psi\left(^{41}\text{Ca}\left(\frac{3^+}{2}\right)\right) &= d_0 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^0 d_{3/2}^{-1}(\nu), \frac{3}{2} \right\rangle \\ &+ d_1 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 s_{1/2}^{-1}(\nu), \frac{3}{2} \right\rangle \\ &+ d_2 \left| (f_{7/2}^{\nu}(\nu))^2 d_{3/2}^{-1}(\nu), \frac{3}{2} \right\rangle. \end{aligned} \quad (10)$$

利用 Kuo-Brown 的有效二体相互作用并考虑核的变形<sup>[6]</sup>,  $1f_{7/2} - 1d_{3/2}$  的粒子-空穴能量间隙取为 5.4 MeV. 可以算得  $a_0 = -0.8466, a_1 = 0.1819, a_2 = 0.4999, b_0 = 0.3734,$

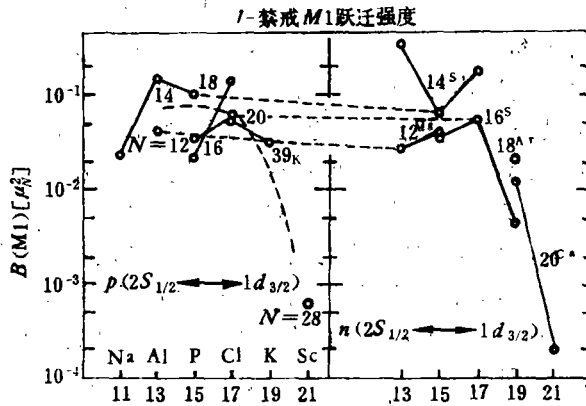


图 2

$b_1 = 0.9297, c_0 = 0.0612, c_1 = 0.9981, d_0 = -0.9632, d_1 = -0.0523, d_2 = 0.2637$ .  
 可以看出  $\langle (f_{7/2}(v))^2 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{1}{2} \parallel \mu \parallel (f_{7/2}(v))^2 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \rangle$  及  $\langle (f_{7/2}(v))^2 d_{3/2}^{-1}(v), \frac{1}{2} \parallel \mu \parallel (f_{7/2}(v))^2 d_{3/2}^{-1}(v), \frac{3}{2} \rangle$  是允许跃迁, 从  $\frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+$  仅仅改变了角动量耦合的取向并不改变其组态. 其他二项之间即  $\langle (f_{7/2}(v))^0 s_{1/2}^{-1}(\pi), \frac{1}{2} \rangle$  和  $\langle (f_{7/2}(v))^0 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \rangle$  及  $\langle (f_{7/2}(v))^2 d_{3/2}^{-1}(\pi), \frac{1}{2} \rangle$  和  $\langle (f_{7/2}(v))^2 s_{1/2}^{-1}(\pi), \frac{3}{2} \rangle$  则是禁戒跃迁, 只有  $g_p$  项有贡献,  $^{40}\text{Ca}$  也是同样. 对于  $^{41}\text{K} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$  的约化矩阵元可写为如下:

$$\begin{aligned} \langle ^{41}\text{K} \left( \frac{1}{2}^+ \right) \parallel \mu \parallel ^{41}\text{K} \left( \frac{3}{2}^+ \right) \rangle &= \frac{3}{\sqrt{4\pi}} \left\{ b_0 a_0 \sqrt{\frac{3}{2\pi}} g_p^* \right. \\ &+ b_1 a_1 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} g_p^* + b_1 a_2 \left[ \sqrt{\frac{2}{5}} \left( -\sqrt{\frac{3}{5}} g_r^{*,\text{eff}} \frac{16}{\sqrt{15}} g_l^{*,\text{eff}} \right. \right. \\ &\left. \left. - \sqrt{\frac{6}{5\pi}} g_p^* \right) - \sqrt{\frac{1}{21}} \left( \frac{6}{\sqrt{14}} g_r^{*,\text{eff}} + \frac{18\sqrt{2}}{\sqrt{7}} g_l^{*,\text{eff}} + \frac{2}{\sqrt{7\pi}} g_p^* \right) \right] \left. \right\} \end{aligned}$$

第一、二项和第三项总的结果是相加的, 第三项中  $g_p$  项和  $g_r, g_l$  项的总结果是相加的,  $^{41}\text{Ca} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$  有类似的表达式, 但是  $g_p$  项的贡献和其他项的贡献总的结果是相减的. 最后的计算结果列表如下:

$l$ -禁戒  $M1$  跃迁

	理论计算 ( $\mu_N$ )	实验 ( $\mu_N$ )
$^{39}\text{K}_{20} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$	0.018	0.032
$^{41}\text{K}_{21} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$	0.13	0.13
$^{39}\text{Ca}_{19} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$	0.018	0.012
$^{41}\text{Ca}_{21} \left( \frac{1}{2}^+ \rightarrow \frac{3}{2}^+ \right)$	0.026	$2.0 \times 10^{-4}$

计算结果表明,在引入有效  $g$  因子之后, $^{41}\text{K}$  的跃迁强度与实验相符,计算的  $^{41}\text{Ca}$  的跃迁强度虽比  $^{41}\text{K}$  的小一个量级,但比实验值大得多, $^{39}\text{Ca}$  和  $^{39}\text{K}$  的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁强度则大致符合实验。由于在计算  $g_i^{\text{eff}}$ ,  $g_j^{\text{eff}}$ ,  $g_p$  时仅有四个实验数据,且都是静态磁矩,所以不能精确地确定  $g_p$  值。所以  $^{39}\text{K}$  和  $^{39}\text{Ca}$  的跃迁强度只能得到相同的值。本文虽然只用了简单的计算但能初步得到符合实验的结果,说明在这个区域引入有效  $g$  因子是很重要的,要进一步改进结果,看来进一步改进波函数即把  $^{40}\text{Ca}$  作为开壳核计算这些核的波函数是很必要的。正象本文所示  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  的跃迁强度的加强正是由于禁戒跃迁和非禁戒跃迁的相干,估计在考虑了  $^{40}\text{Ca}$  的开壳结构后将能更好地解释  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  和  $^{39}\text{Ca}$ ,  $^{41}\text{Ca}$  的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁强度之间这样大的差别。对于  $sd$  壳核的有效  $g$  因子和一些镜像核的  $l$ -禁戒  $M1$  跃迁的系统学工作尚在进一步研究中。

### 参 考 文 献

- [1] A. Arima, Hyuga Mesons in Nuclei, Vol. 2 p. 683.
- [2] W. Andrejtscheff, L. Zamick, N. Zmarupov, K. M. Muninov and T. M. Muninov, *N. P.*, **A351** (1981), No. 1 p. 54.
- [3] Th. Grundey, A. Richer, G. Schrieder, E. Spamer and W. Stock, *N. P.*, **A357**(1981), No. 2.
- [4] B. A. Brown, W. Chung, B. H. Wildenthal, *P. E.*, **C22**(1980), p. 774.
- [5] W. Gross, D. Meuer, A. Richer, E. Spamer and O. Titze, *P. L.*, **B84**(1979), 296.
- [6] T. T. S. Kuo, G. E. Brown, *N. P.*, **A114**(1968), 241.

## THE $l$ -FORBIDDEN $M1$ TRANSITIONS AND EFFECTIVE $g$ -FACTORS IN $^{40}\text{Ca} \pm 1$ NUCLEI

LI ZHU-XIA ZHANG XI-ZHEN

(Institute of Atomic Energy, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The  $B(M1)$  value of the  $l$ -forbidden  $M1$  transition of  $^{40}\text{Ca} \pm 1$  nuclei were calculated with the effective  $g$ -factors in  $^{40}\text{Ca}$  region. The results give a explanation of strong  $l$ -forbidden  $M1$  transitions of  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$ . A qualitative explanation for the reason of large difference of  $B(M1)$  value of  $l$ -forbidden  $M1$  transition between  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$  and  $^{39}\text{Ca}$ ,  $^{41}\text{Ca}$  is given also.