

일반화된 호상작용하는 보존모형에 의한 ^{154}Sm 핵의 《제안된 띠》에 대한 이론적계산

박재연, 김광혁, 김래종

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새로운 과학기술분야를 개척하기 위한 사업도 전망성있게 밀고나가야 합니다.》

(《김정일선집》 증보판 제11권 138페이지)

현재 핵구조연구에서 가장 널리 이용되고있는 호상작용하는 보존모형에는 《호상작용하는 sd보존모형》, 《호상작용하는 sdg보존모형》, 《호상작용하는 spd보존모형》, 《호상작용하는 sdf보존모형》, 《호상작용하는 spdf보존모형》 등 여러가지 변종[3]들이 있으며 이 모형들은 다른 핵모형으로 계산이 불가능한 중간 및 무거운 핵들에 적용되어 좋은 결과들을 주고있다.

^{154}Sm 핵은 닫긴각우에 값핵자수가 22개로서 각모형에 의하여 계산할 때 $J=0^+$ 상태에서 토대수가 41 654 193 517 797이므로 계산이 불가능한 핵이며 또 집단화모형으로도 계산하기 힘든 핵이다. 따라서 실험에서 관측된 $J=4^+$ 인 띠머리를 가진 준위띠에 대한 연구가 진행된것이 없기때문에 《제안된 띠(proposed band)》라고만 밝혀놓고있다.[4]

이 핵의 러기준위와 전기4중극이행확률을 계산하자면 g보존까지 고려하는 보다 일반화된 호상작용하는 보존모형을 리용하여야 한다.

우리는 일반화된 호상작용하는 보존모형하밀토니안[2]을 리용하여 ^{154}Sm 핵의 《제안된 띠》[4]에 대한 러기에너지준위값과 전기4중극환산이행확률을 이론적으로 계산하였다.

1. 계산하밀토니안 및 전기4중극환산이행연산자

일반화된 호상작용하는 보존모형의 하밀토니안[2]은 다음과 같다.

$$H_{ee} = \sum_{I=1}^4 \varepsilon'_I n_I + c_1 Q^{(2)} \cdot Q^{(2)} + c_2 L \cdot L \quad (1)$$

여기서 $Q^{(2)}$ 와 L 은 4중극텐소르연산자와 각운동량연산자[1]로서 다음과 같이 표시된다.

$$Q_\mu = 4\sqrt{\frac{5}{17}}[s^+ \times \tilde{d} + d^+ \times s]_\mu^{(2)} - 11\sqrt{\frac{2}{21}}[d^+ \times d]_\mu^{(2)} + \\ + 12\sqrt{\frac{3}{35}}[d^+ \times \tilde{g} + g^+ \times \tilde{d}]_\mu^{(2)} - 2\sqrt{\frac{33}{7}}[g^+ \times g]_\mu^{(2)}, \quad (\mu = 0, \pm 1, \pm 2) \quad (2)$$

$$L_m = \sqrt{10}[d^+ \times \tilde{d}]_m^{(1)} + \sqrt{60}[g^+ \times \tilde{g}]_m^{(1)} \quad (3)$$

이때 전기4중극환산이행연산자는

$$T^{(E_2)} = \alpha_2 Q \quad (4)$$

로 표시된다.

우리는 토대로 진동극한사슬들의 직적으로 얻어지는 다음의 군사슬을 선택하였다.

$$U(15) \supset U(6) \otimes U(9)$$

따라서 우리는 토대를 군사슬 $U(9) \supset O(9) \supset O(3)$ 의 토대 $|n_g \tau_g \alpha J_g\rangle$ 와 $U(6) \supset U(5) \supset O(5) \supset O(3)$ 의 토대 $|n_s n_d \tau_d n_\Delta J_d\rangle$ 의 직적으로 얻을수 있다.

즉 군사슬

$$U(15) \left\langle \begin{array}{ccc} U(9) \supset O(9) & \supset & O(3) \\ \otimes & & \otimes \\ U(6) \supset U(5) \supset O(5) \supset O(3) \end{array} \right\rangle O(3) \supset O(2)$$

의 토대는

$$|inJM\rangle = \left| [(n_g^i \tau_g^i \alpha_g^i J_g^i) \times (n_d^i \tau_d^i \alpha_d^i J_d^i)]_M^{(J)} \right\rangle. \quad (5)$$

여기서 n 은 총보존수를 나타내며 n_s, n_d, n_g 는 각각 s, d, g 보존수를 나타낸다. 그리고 J 와 M 은 전각운동량 및 그것의 z 축에로의 사영성분이며 p 는 각운동량이 J 인 상태들가운데서 어떤 상태를 의미한다. 따라서 하밀토니안의 토대는 위의 토대들의 선형결합

$$|knJM\rangle = \sum_i C_{nJ}^k(i) |inJM\rangle \quad (6)$$

으로 택한다.

토대를 구체적으로 쓰면 다음과 같다.

$$|inJM\rangle = \sum_{M_g^i M_d^i} (J_g^i M_g^i J_d^i M_d^i | JM) \left| n_g^i \tau_g^i \alpha_g^i J_g^i M_g^i \right\rangle \left| n_s^i n_d^i \tau_d^i n_\Delta^i J_d^i M_d^i \right\rangle \quad (7)$$

여기서 $n = n_s + n_d + n_g$, $|J_d^i - J_g^i| \leq J \leq J_d^i + J_g^i$, $-J_g^i \leq M_g^i \leq J_g^i$, $-J_d^i \leq M_d^i \leq J_d^i$ 이다.

2. 계산결과 및 분석

일반화된 호상작용하는 보존모형을 리용하는 핵 구조계산프로그램 GIBM 2.0을 리용하여 ^{154}Sm 핵의 《제안된 띠》를 계산하고 sd-IBM모형과 실험값과 비교하여 대비한 결과는 그림과 같다.

^{154}Sm 핵의 《제안된 띠》의 이론적계산을 위한 하 밀토니안 (1)의 파라메터들과 러기준위 및 전기4중 극환산이행 확률계산결과들은 표 1-3과 같다.

전기4중극환산이행 확률을 계산할 때 러기준위들 사이의 이행확률에 대한 실험자료가 알려진것이 없으므로 ^{154}Sm 핵의 기저준위에서 얻은 $\alpha_2 = 2.41e^2 fm^4$ 을 선택하였다.

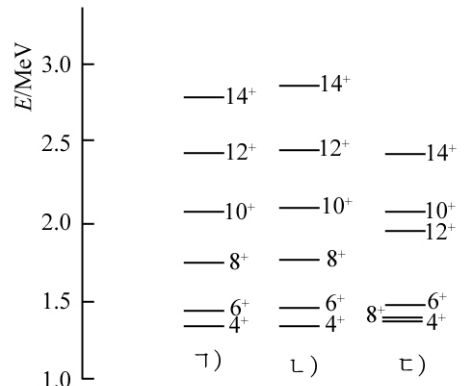


그림. ^{154}Sm 핵의 《제안된 띠》에 대한 계산결과

γ) 실험값[4], L) sdg-IBM계산값,
C) sd-IBM계산값

표 1. ^{154}Sm 의 《제안된 π 》의 이론계산에서 추정된 파라미터값(MeV)

파라미터	ε_d	ε_f	ε_g	k_1	k_2
값	0.228	0	1.437	0.021 10	-0.000 380

표 2. ^{154}Sm 의 《제안된 π 》에 대한 이론값과 실험값(MeV)

스핀, 우기성	4^+	6^+	8^+	10^+	12^+	14^+
실험값[4]	1.371	1.475	1.741	2.069	2.439	2.793
이론값	1.303	1.421	1.792	2.083	2.459	2.744

표 3. ^{154}Sm 핵의 《제안된 π 》준위들사이의 $B(E_2)$ 결과

$L_i \rightarrow L_f$	계산결과	실험결과	선행연구결과[4]
$6^+ \rightarrow 4^+$	113.9	—	—
$8^+ \rightarrow 6^+$	221.7	—	—
$10^+ \rightarrow 8^+$	263.1	—	—
$12^+ \rightarrow 10^+$	280.0	—	—
$14^+ \rightarrow 12^+$	398.3	—	—

sdg-IBM모형에서 추정된 파라미터값들은 $\varepsilon_g = 1\,437.3\text{keV}$, $\varepsilon_d = 228.3\text{keV}$, $c_1 = 21.1\text{keV}$, $c_2 = -0.382\text{keV}$ 이고 sd-IBM에서 추정된 파라미터값들은 $\varepsilon_d = 229.8\text{keV}$, $c_1 = -13.3\text{keV}$, $c_2 = 55.9\text{keV}$ 이다.

그림 2에서 보는바와 같이 《제안된 π 》에 대한 sdg-IBM계산결과와 실험자료와의 일치성이 대단히 좋지만 sd-IBM계산결과와는 준위순서조차도 일치하지 않는다. 이 계산을 통하여 실험[4]적으로 측정된 《제안된 π 》가 g보존들을 포함하고있는 일반화된 호상작용하는 보존모형에 의하여 재현되므로 결국 16중극회전 π [$2^-(I=4)$ 중극회전 π]라고 볼수 있다.

맺 는 말

일반화된 호상작용하는 보존모형하밀토니안을 리용하여 실험에서 제기한 ^{154}Sm 핵의 《제안된 π 》에 대한 이론계산을 진행하고 그 π 가 16중극회전 π 일 가능성이 높다는데 대하여 밝히었다. 또한 실험적으로 얻어지지 않은 러기준위들사이의 환산이행확률에 대하여 계산하였다. 계산결과는 모형이 ^{154}Sm 의 《제안된 π 》를 아주 잘 설명한다는것을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 58, 3, 84, 주체101(2012).
- [2] 박재연 등; 원자력, 4, 2, 주체100(2011).
- [3] A. Arima et al.; Annals of Physics, 281, 2, 2000.
- [4] S. Y. Chu et al.; Isotope Explorer, 2.23, January 28, 1999.

주체103(2014)년 11월 5일 원고접수

Theoretical Calculation on the “Proposed Band” of ^{154}Sm by Generalized Interacting Boson Model

Pak Jae Yon, Kim Kwang Hyok and Kim Thae Jong

We theoretically calculated on the “proposed band” of ^{154}Sm supposed in experiment by using the Hamiltonian of generalized interacting boson model, and illustrated that it must be hexadecapole rotational band.

And, we found the probability of reduced transition between excited levels, which could not be measured in experiment.

The result showed that this model described the “proposed band” of ^{154}Sm well.

Key words: nuclear model, interacting boson model