

3
4-81

826



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория теоретической физики

Чу Лян-юан

P - 826

ТОНКАЯ СТРУКТУРА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА
КОЛЛЕКТИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДЕР

Дубна 1961

Чу Лян-юан

P - 826

1251/4 48.
ТОНКАЯ СТРУКТУРА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА
КОЛЛЕКТИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДЕР

Как известно, высоковозбужденные уровни ядра коллективной модели О. Бора^{/1/} сильно вырождены. Однако, последние экспериментальные данные противоречат этому. В данной работе исследуется энергетический спектр колебаний и частично устраняется это вырождение.

В коллективной модели^{/1/} гамильтониан квадрупольных колебаний ядра записывается в следующем виде:

$$H_{\text{колл.}} = \sum_{\mu=-2}^2 \left(\frac{1}{2B} |\pi_{\mu}|^2 + \frac{C^2}{2} |a_{\mu}|^2 \right)$$

где $a_{\mu} = \left(\frac{\hbar}{2B\omega} \right)^{1/2} [b_{\mu} + (-)^{\mu} b_{-\mu}^+]$, $\pi_{\mu} = i \left(\frac{\hbar B\omega}{2} \right)^{1/2} [b_{\mu}^+ - (-)^{\mu} b_{-\mu}]$.

Фононы, отвечающие этим колебаниям, имеют, очевидно, спин 2 и подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна; их конфигурации можно классифицировать по теории групп^{/2/} следующим образом:

$$\begin{array}{cccc} SU_5 & \supset & R_5 & \supset & R_3 & \supset & R_2 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ [f] & & (\lambda, \mu) & & L & & M \end{array}$$

Запись $U \supset V$ означает, что V есть подгруппа U , SU_5 - пятимерная унимодулярная унитарная группа, R_5 - пятимерная ортогональная группа, R_3 - трехмерная группа вращения, R_2 - циклическая группа, а

$[f]$, (λ, μ) , L и M являются квантовыми числами, характеризующими неэквивалентные неприводимые представления этих групп. Частота всех фононов одинакова, поэтому допустима лишь конфигурация $[f] = [n]$ и $\mu = 0$. Поэтому конфигурация фононов описывается числом фононов n и числом λ , которое Ракави^{/3/} назвал сеньоритетом. Таким образом, полную волновую функцию можно записать в следующем виде

$$|n, \lambda, L, M\rangle.$$

M , L и λ принимают значения:

$$M = L, L-1, L-2, \dots, -L.$$

$$L = k, k+1, \dots, 2k-2, 2k. \quad (\text{кроме } 2k-1)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda, \lambda-3, \lambda-6, \dots & \begin{cases} 0 \\ 1 \\ 2 \end{cases} \\ \lambda &= n, n-2, n-4, \dots & \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \end{aligned}$$

Мы предположим, что между фононами существуют парные взаимодействия, вклад которых в гамильтониан можно записать в виде

$$H' = \sum_{i < j} J_{ij}$$

Суммирование проводится по всем парам фононов. Обозначим энергии возмущения между двумя фононами как

$$E_0 = \langle 2, 0, 0, 0 | H' | 2, 0, 0, 0 \rangle,$$

$$E_2 = \langle 2, 2, 2, M | H' | 2, 2, 2, M \rangle,$$

$$E_4 = \langle 2, 2, 4, M | H' | 2, 2, 4, M \rangle.$$

Используя генеалогические коэффициенты^{/2/}, легко вычислить энергии возмущения первой степени для других состояний в виде линейной обратной функции от E_0 , E_2 и E_4 . Например, при $n = 3$

$$\langle 3, 3, 6, M | H' | 3, 3, 6, M \rangle = 3 E_4,$$

$$\langle 3, 3, 4, M | H' | 3, 3, 4, M \rangle = \frac{11}{7} E_2 + \frac{10}{7} E_4,$$

$$\langle 3, 3, 3, M | H' | 3, 3, 3, M \rangle = (15 E_2 + 6 E_4) / 7$$

$$\langle 3, 3, 0, 0 | H' | 3, 3, 0, 0 \rangle = 3 E_2,$$

$$\langle 3, 1, 2, M | H' | 2, 1, 2, M \rangle = \frac{7}{5} E_0 + \frac{4}{7} E_2 + \frac{36}{35} E_4.$$

$$\text{при } n = 4 \quad \langle 4, 4, 8, M | H' | 4, 4, 8, M \rangle = 6 E_4,$$

$$\langle 4, 4, 6, M | H' | 4, 4, 6, M \rangle = (15 E_2 + 27 E_4) / 7,$$

$$\langle 4, 4, 5, M | H' | 4, 4, 5, M \rangle = 3 (E_2 + E_4),$$

$$\langle 4, 4, 4, M | H' | 4, 4, 4, M \rangle = (26 E_2 + 16 E_4) / 7,$$

$$\langle 4, 4, 2, M | H' | 4, 4, 2, M \rangle = (33 E_2 + 9 E_4) / 7,$$

$$\langle 4, 2, 4, M | H' | 4, 2, 4, M \rangle = \frac{9}{5} E_0 + \frac{8}{7} E_2 + \frac{107}{35} E_4$$

$$\langle 4, 2, 2, M | H' | 4, 2, 2, M \rangle = \frac{9}{5} E_0 + \frac{15}{7} E_2 + \frac{72}{35} E_4,$$

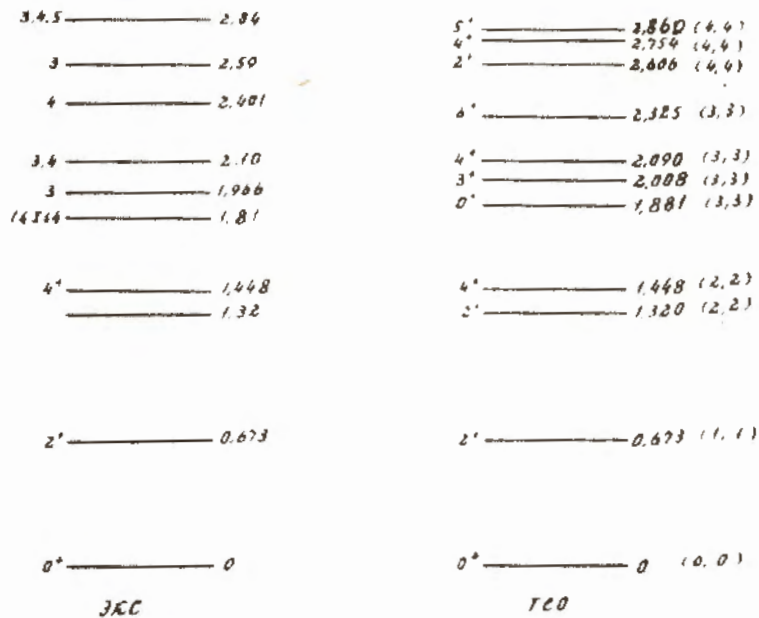
$$\langle 4, 0, 0, M | H' | 4, 0, 0, M \rangle = \frac{14}{5} E_0 + \frac{8}{7} E_2 + \frac{72}{35} E_4$$

Легко видеть, что энергии всех уровней могут быть определены по формуле $\mathcal{E}(n, \lambda, L) = n \hbar \omega + \langle n, \lambda, L, M | H' | n, \lambda, L, M \rangle$, если известны четыре параметра E_0 , E_2 , E_4 и $\hbar \omega$.

На рисунках 1 и 2 дается сравнение полученных теоретически уровней энергий ${}_{54}^{134}\text{Xe}_{80}$ и ${}_{54}^{132}\text{Xe}_{78}$ с экспериментальными данными /4/. Видно, что имеется удовлетворительное согласие. Из модели принудительного вращения можно увидеть, что гамильтониан коллективных колебаний не только содержит $H_{\text{колл}}$, но и члены высшего порядка a и \dot{a} . Например, члены третьей и четвертой степени и т.д. В данной работе была использована часть взаимодействий четвертой степени, которая вносит вклад в первое приближение теории возмущений. Другие части 3-й и 4-й степени вносят вклад в высшие приближения. Поэтому для вычисления спектра члены высшей степени, по-видимому, не существенны.

Вопрос – согласуется ли настоящая теория всеми экспериментальными данными в области колебаний /т.е. когда E_0 , E_2 и E_4 малы/ – требует дальнейших исследований.

Автор выражает глубокую благодарность В.Г. Соловьеву и А.С. Давыдову за многочисленные дискуссии.

Р и с. 1. Энергетические схемы уровней ${}_{54}\text{Xe}^{132}_{78}$ Р и с. 2. Энергетические схемы уровней ${}_{54}\text{Xe}^{132}_{78}$

Цифры у уровней слева означают спин и четность, цифры справа соответствуют энергиям /в Мэв/, в скобках приведены теоретические значения π и λ . В численных расчетах использовались следующие параметры: для ядра ${}_{54}\text{Xe}^{134}_{80}$, $E_0 = 0,22$, $E_2 = -0,08$, $E_4 = 0,04$ и $\pi\omega = 0,85$; для ядра ${}_{54}\text{Xe}^{132}_{78}$, $E_2 = -0,046$, $E_4 = 0,102$ и $\pi\omega = 0,673$.

Л и т е р а т у р а

1. A. Schr. Dan. Mat. - Fys. Medd., 26, N.14 (1952).
2. Ч.А. Jahn. Proc. Roy. Soc., A 205 (1951) 192.
G. Racah. Group Theory and spectroscopy. Mimeographed lecture notes. Princeton. 1951.
3. G. Racah. Nucl. Phys., 4, 289 (1957).
4. Noah R. Johnson, E. Eichler, G.D. O'Kelley, J.W. Chase and J.T. Wasson. Phys. Rev., 122, 1546 (1961).
R.L. Robinson, E. Eichler and Noah R. Johnson. Phys. Rev., 122 (1961). 1863.
5. C. Sackin and A. Kerman. Nucl. Phys., December - 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 октября 1961 г.