

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



B-754

4039/2-78

18/x-78

P4 - 11591

В.В.Воронов, В.Г.Соловьев, Ч.Стойнов

ОБ УСИЛЕНИИ М1-ПЕРЕХОДОВ
С НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
В ИЗОТОПАХ Ва И Се

1978

P4 - 11591

В.В.Воронов, В.Г.Соловьев, Ч.Стоянов

ОБ УСИЛЕНИИ М1-ПЕРЕХОДОВ
С НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
В ИЗОТОПАХ Ва И Се

Направлено в "Physics Letters"



Воронов В.В., Соловьев В.Г., Стоянов Ч.

P4 - 11591

Об усилении M1-переходов с нейтронных резонансов в изотопах Ba и Ce

В рамках квазичастично-фононной модели ядра рассчитаны M1-силовые функции для переходов с основных состояний $^{136,138}\text{Ba}$ и ^{140}Ce на состояния, лежащие вблизи энергии связи нейтрона B_n . Рассчитанные M1-силовые функции хорошо описывают соответствующие экспериментальные данные. Показано, что значительное усиление M1-переходов связано с тем, что максимум M1-резонанса находится вблизи B_n . В результате интенсивности E1- и M1-переходов оказывались близкими друг к другу.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Voronov V.V., Soloviev V.G., Stoyanov Ch.

P4 - 11591

On the Enhancement of M1-Transitions from Neutron Resonances in the Ba and Ce Isotopes

The M1-strength functions for transitions from the ground states of $^{136,138}\text{Ba}$ and ^{140}Ce to the states lying near the neutron binding energy B_n are calculated within the quasiparticle-phonon nuclear model. The calculated M1-strength functions describe well the relevant experimental data. It is shown that a notable enhancement of the M1-transitions is caused by the proximity of the maximum of the M1-resonance to B_n . As a result the intensities of the E1 and M1-transitions appear to be close to each other.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В ряде ядер в области массового числа $A \sim 140$ измерены M1-радиационные силовые функции $^{1-3/}$ и обнаружено, что они имеют большие значения по сравнению со средней величиной $^{4/} \langle K(M1) \rangle \sim 18 \times 10^{-9} \text{ МэВ}^{-3}$. В рамках квазичастично-фононной модели ядра $^{5,6/}$, учитывающей изоскалярные и изовекторные мультипольные и спин-мультипольные силы, можно рассчитать радиационные силовые функции. Расчеты E1-силовых функций проведены в $^{7/}$, получено хорошее описание экспериментальных данных. В настоящей работе мы приводим результаты расчетов M1-силовых функций и обсуждаем причину усиления M1-переходов при энергиях порядка энергии связи нейтрона B_n в изотопах бария и церия.

Для описания высоковозбужденных состояний четно-четных сферических ядер волновую функцию представим в виде $^{6/}$:

$$\Psi_{\nu}(JM) = \left\{ \sum_i R_{\nu}(J_i) Q_{JM_i}^+ + \sum_{\lambda_1 \lambda_2} P_{\lambda_1 \lambda_2} \sum_{i_1 i_2} P_{\lambda_1 i_1}^{i_1} [Q_{\lambda_1 \mu_1 i_1}^+ Q_{\lambda_2 \mu_2 i_2}^+]_{JM} \right\} |0\rangle_{ph}, \quad /1/$$

где $|0\rangle_{ph}$ - фононный вакуум, $Q_{\lambda \mu i}^+$ - оператор рождения фонона, ν - номер возбужденного состояния. Коэффициенты $R_{\nu}(J_i)$ и энергии состояния $\eta_{J\nu}$ определяются путем решения соответствующих секулярных уравнений,

приведенных в ^{6/}. Если пренебречь в операторе электромагнитного перехода членами $\sim a^+a$, то приведенная вероятность $M\lambda$ -перехода из основного состояния в возбужденное, описываемое волновой функцией ^{1/}, определяется следующим выражением:

$$B(M\lambda; 0^+_{g.s.} \rightarrow \lambda\nu) = \left| \sum_i R_{\nu}(\lambda i) \sqrt{B(M\lambda; 0^+_{g.s.} \rightarrow \lambda i)_{RPA}} \right|^2, \quad /2/$$

где B_{RPA} - вероятность $M\lambda$ -перехода, рассчитанная в приближении случайных фаз. Определим силовую функцию $M1$ -перехода следующим образом ^{6/}:

$$b(M1^{\uparrow}, \eta) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\nu} \frac{\Delta}{(\eta - \eta_{\nu})^2 + \Delta^2/4} B(M1; 0^+_{g.s.} \rightarrow J\nu), \quad /3/$$

$$\langle K(M1) \rangle = \sum_{\nu \in \Delta E} \Gamma_{\gamma 0}(M1, \eta_{\nu}) / E_{\gamma}^3 \Delta E \text{ (МэВ}^{-3}\text{)}, \quad /4/$$

где $\Gamma_{\gamma 0}, E_{\gamma}, \Delta E$ берутся в $MэВ$,

$$\sum_{\nu \in \Delta E} \Gamma_{\gamma 0}(M1, \eta_{\nu}) = 3.76 \int_{E - \Delta E/2}^{E + \Delta E/2} \eta^3 b(M1^{\uparrow}, \eta) d\eta \text{ (мэВ)}. \quad /5/$$

Нами выполнены расчеты $M1$ -силовых функций с теми же константами гамильтониана, что и в ^{7/}. Для гиромагнитных факторов мы использовали значения ^{8/}, равные $g_s^f = 0,8 g_s^f$, где g_s^f - значения для свободных нуклонов. Константы спин-мультипольного взаимодействия выби-

рались равными $\kappa_{\sigma 1}^1 = -4\pi \frac{28}{A} \text{ МэВ}$, $\kappa_{\sigma 0}^1 = 0$. Такая

величина $\kappa_{\sigma 1}^1$ позволяет правильно описать экспериментальное положение гигантского магнитного дипольного резонанса в большом числе ядер ^{8/} и близка к оценкам работы ^{9/}. Подробное исследование влияния величин спин-мультипольных констант на характеристики гигантских магнитных резонансов проведено в ^{8/}. Выбор спин-муль-

типольных констант $\kappa_{\sigma 1}^1$ и $\kappa_{\sigma 0}^1$ содержит некоторый произвол, который влияет на энергетическое положение гигантского дипольного магнитного резонанса. В случае $\kappa_{\sigma 0}^1 = \kappa_{\sigma 1}^1/2$ для ядер в области $A \sim 140$ происходит понижение энергии $M1$ -резонансов на величину $\sim 0,5 \text{ МэВ}$.

Интегральная сила $M1$ -переходов на состояния, формирующие $M1$ -резонанс, в зависимости от $\kappa_{\sigma 1}^1$, $\kappa_{\sigma 0}^1$ изменяется слабо. С нашим набором констант гамильтониана удается правильно описать энергии и вероятности переходов для уровней $2^+_{1,3,1}$ гигантские мультипольные резонансы и $E1$ -радиационные силовые функции.

Результаты расчетов $\langle K(M1) \rangle$ -величин для $M1$ -переходов из основного состояния четно-четных ядер с $\Delta E = 0,6 \text{ МэВ}$ и соответствующие экспериментальные данные ^{1-3/} приведены в таблице. Как видно из таблицы, расчеты довольно хорошо описывают экспериментальные данные. Увеличение параметра ΔE до 1 МэВ приводит к уменьшению $\langle K(M1) \rangle$ -величин на $15-30\%$. Различие между экспериментальными данными и расчетами для ¹³⁶Ba связано с тем, что в эксперименте определена $M1$ -силовая функция, усредненная по 16 переходам в основные и возбужденные состояния. Если для определения $\langle K(M1) \rangle$ использовать значение $\Gamma_{\gamma 0}$ для единственного хорошо разрешенного резонанса 1^+ с энергией $24,4 \text{ эВ}$, то для ¹³⁶Ba получено $\langle K(M1) \rangle = 80 \times 10^{-9} \text{ МэВ}^{-3}$ близкое к значению $\langle K(M1) \rangle$ в ядре ¹³⁸Ba. На рисунке приведены силовые функции $b(M1^{\uparrow}, \eta)$ для ¹³⁶Ba и ¹³⁸Ba. Из рисунка видно, что в обоих ядрах $M1$ -гигантский резонанс расположен вблизи B_n . Рассчитанные ширины $M1$ -резонансов имеют величину порядка 1 МэВ , что согласуется с результатами экспериментов по возбуждению $M1$ -резонансов в реакциях с электронами ^{10/}. Таким образом, увеличение $M1$ -силовых функций при энергиях, близких к B_n , в ядрах с $A \sim 140$ обусловлено присутствием вблизи B_n гигантского магнитного дипольного резонанса. Это приводит к тому, что величины $\sum \Gamma_{i\gamma 0}$ для $M1$ - и $E1$ -переходов на состояния вблизи B_n^i становятся близкими друг к другу. Так, например, согласно ^{3/} для ¹⁴⁰Ce $\sum_i \Gamma_{i\gamma 0}(E1) = 1,7 \text{ эВ}$, а $\sum_i \Gamma_{i\gamma 0}(M1) = 1,1 \text{ эВ}$ при суммировании в интервале $\Delta E = 40 \text{ кэВ}$ выше B_n . Как

Таблица

M1-радиационные силовые функции

Ядро	$E_\gamma, \text{МэВ}$	Эксперимент			Расчет		
		$\langle K(M1) \rangle \times 10^9 \text{ МэВ}^{-3}$	$\frac{\Sigma \Gamma_{\gamma 0}(E1)}{\Sigma \Gamma_{\gamma 0}(M1)}$	Ссылка	$\langle K(M1) \rangle \times 10^9 \text{ МэВ}^{-3}$	$\frac{\Sigma \Gamma_{\gamma 0}(E1)}{\Sigma \Gamma_{\gamma 0}(M1)}$	
^{136}Ba	9,1	20 ± 7 (80)	-	2	47	4,9	
^{138}Ba	8,6	90 ± 35	1,1	3	47	2,1	
^{140}Ce	9,1	37	1,6	3	26	2,2	

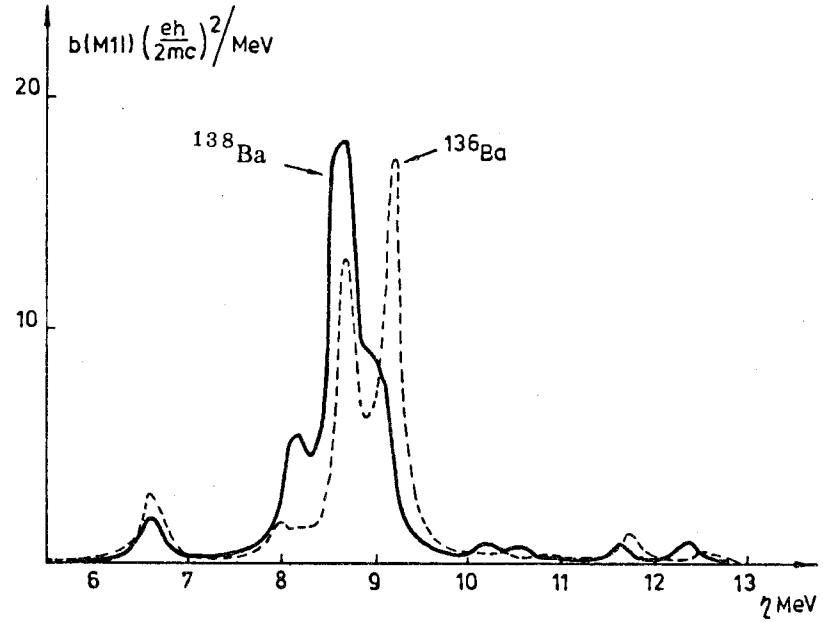


Рис. $b(M1^\uparrow, \eta)$ - силовые функции для ядер ^{138}Ba /сплошная кривая/ и ^{136}Ba /штриховая кривая/.

показано в [7], величина $\Gamma_{\gamma 0}(E1)$ вблизи B_n в ^{140}Ce определяется в основном фрагментацией 1^- состояний, расположенных в этой области, так как GDR лежит на 6 МэВ выше B_n , а ангармонические эффекты в этом ядре не очень сильны.

Ввиду того, что M1-резонансы достаточно узки, а при переходе от одного изотопа к другому значительно меняется энергия связи нейтрона B_n , следует ожидать значительного уменьшения M1-силовых функций в тех изотопах, у которых величина B_n лежит вне максимума M1-резонанса. Согласно нашим расчетам, можно ожидать значительного уменьшения вероятностей M1-переходов в ^{142}Ce , по сравнению с ^{140}Ce . Было бы интересно изучить зависимость M1-силовых функций от энергии возбуждения путем измерения M1-силовых функций в (γ, n) -реакции на ряде стабильных изотопов олова.

Таким образом, в рамках квазичастично-фононной модели ядра с единым набором параметров удается правильно описать абсолютные величины $E1$ - и $M1$ -силовых функций для переходов из основных состояний четно-четных ядер на уровни, лежащие вблизи B_n .

ЛИТЕРАТУРА

1. Shapiro F.L. In: *Nuclear Structure. Dubna Symposium 1968* (IAEA, Vienna, 1968), p. 283.
2. Chrien R.E. et al., *Phys.Rev.* C9, (1974), p. 1622.
3. Holt R. J., Jackson H.E. *Phys. Rev.*, C12, (1975), p. 56.
Laszewski R.M. et al. *Phys.Rev.* C13, (1976), p.2257.
4. Bollinger L.M. In: *Proceedings of the International Conference on Photoneuclear Reactions and Applications, Asilomar, 1973*, ed. by Berman B.L. (Lawrence Livermore Laboratory, Univ. of California, 1973), p. 783.
5. Soloviev V.G. *Preprint JINR E4-11012, Dubna, 1977*;
Soloviev V.G. In: *Proc.Int.Conf. on Nuclear Structure, Tokyo, 1977*, ed. by Marumori T. (*Phys.Society of Japan*, 1978), p. 323; Malov L.A., Soloviev V.G. *Nucl.Phys.* A270 (1976), p. 87.
6. Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. *Nucl.Phys.* A288 (1977), p. 376.
7. Воронов В.В., Соловьев В.Г., Стоянов Ч.
Письма в ЖЭТФ, 25, 1977, с. 459.
Nucl.Phys. to be published; JINR, E4-11292, Dubna, 1978.
8. Вдовин А.И., Стоянов Ч., Юдин И.П. ОИЯИ, P4-11086, Дубна, 1977.
9. Castel B., Hamamoto I. *Phys.Lett.* 65B, (1976), p. 27.
10. Pitthan R., Walcher Th. *Phys.Lett.*, 36B (1971), p.563.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 мая 1978 года.