

## О ШИРИНЕ $E1$ -ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР В ОБЛАСТИ $150 < A \leq 186$

*Г.М.Гуревич, Л.Е.Лазарева, В.М.Мазур,  
С.Ю.Меркулов, Г.В.Солодухов, В.А.Тютин*

Методом поглощения измерены кривые полного сечения фотопоглощения для деформированных ядер  $^{154}\text{Sm}$ ,  $^{156}\text{Gd}$ ,  $^{168}\text{Er}$ ,  $^{174}\text{Yb}$ ,  $^{184}\text{W}$  и  $^{186}\text{W}$  в области  $E1$ -гигантского резонанса. Обсуждается поведение ширин резонансов для ядер в интервале  $A = 153 \div 186$ .

В опубликованной ранее работе [1] авторами настоящей статьи было показано, что из имеющихся экспериментальных данных по полному ядерному сечению фотопоглощения ( $\sigma_{tot}$ ) следует, что в области ядер с атомными весами  $\sim 155 < A < \sim 180$  корреляция между параметром деформации ( $\beta$ ) и шириной  $E_1$ -гигантского резонанса ( $\Gamma$ ) нарушается. Расхождение заключается в том, что начиная с  $A \sim 155$ , ширины кривых  $\sigma_{tot}$  заметно уменьшаются в то время как величины  $\beta$  остаются практически постоянными.

Как хорошо известно [2], в случае жестких деформированных ядер, к которым относятся ядра в диапазоне  $150 < A \leq 186$ , ширина гигантского резонанса определяется тремя параметрами: ширинами резонансов  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , соответствующих колебаниям вдоль и перпендикулярно оси деформации (отношение длин осей —  $R$ ), и расстоянием между максимумами этих резонансов,  $E_2 - E_1$ . Ширина  $\Gamma$  приблизительно равна сумме —  $\Gamma_1/2 + \Gamma_2/2 + (E_2 - E_1)$ . Величина  $(E_2 - E_1)$  должна быть

$$\text{функцией деформации ядра } \left( \frac{E_2}{E_1} \approx R \approx 1 + \beta; E_2 - E_1 \approx \text{const} \cdot \frac{1}{A^{1/3}} \times \right. \\ \left. \times \frac{(R-1)}{R^{2/3}} \approx \text{const} \cdot \frac{1}{A^{1/3}} \beta \left( 1 - \frac{2}{3} \beta + \frac{5}{9} \beta^2 \right) \sim \frac{1}{A^{1/3}} \approx 0,85 \beta \right).$$

Как видно из рис. 1 экспериментальные значения  $(E_2 - E_1)$ , приведенные для ядер в области  $A = 150 + 186$ , хорошо коррелируют с поведением  $\beta$ . Таким образом найденное расхождение должно быть связано с поведением ширины  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

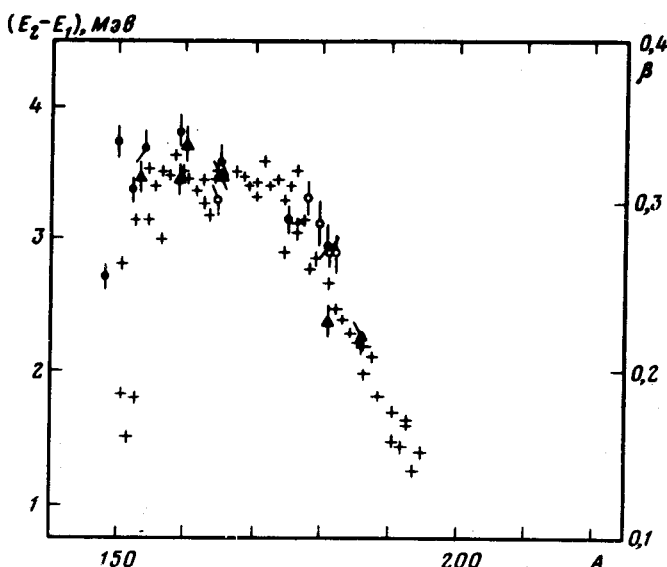


Рис. 1. Разность резонансных энергий  $(E_2 - E_1)$  для деформированных ядер в области  $150 < A < 190$ : о — по данным кривых  $\sigma_{tot}$ , измеренных в работе [1]; ● и ▲ — по данным кривых фотонейтронных сечений  $\sigma_n$ , измеренных на пучках квазимонохроматических фотонов соответственно группой Сакле и Ливермора [3, 4]. Крестиками нанесены параметры деформации  $\beta$ . Значения  $\beta$ , равные 0,3, совмещены с величинами  $(E_2 - E_1)$  в районе  $A \sim 155$

Экспериментальные данные для ширин  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , полученные разными авторами, имеют систематические сдвиги. Поэтому, чтобы уточнить поведение  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  в этой области  $A$  в условиях одного эксперимента, нами дополнительно были измерены сечения полного поглощения для шести ядер:  $^{154}\text{Sm}$ ,  $^{156}\text{Gd}$ ,  $^{168}\text{Er}$ ,  $^{174}\text{Yb}$ ,  $^{184}\text{W}$  и  $^{186}\text{W}$ . Как и в работе [1], сечения  $\sigma_{tot}$  были измерены методом полного поглоще-

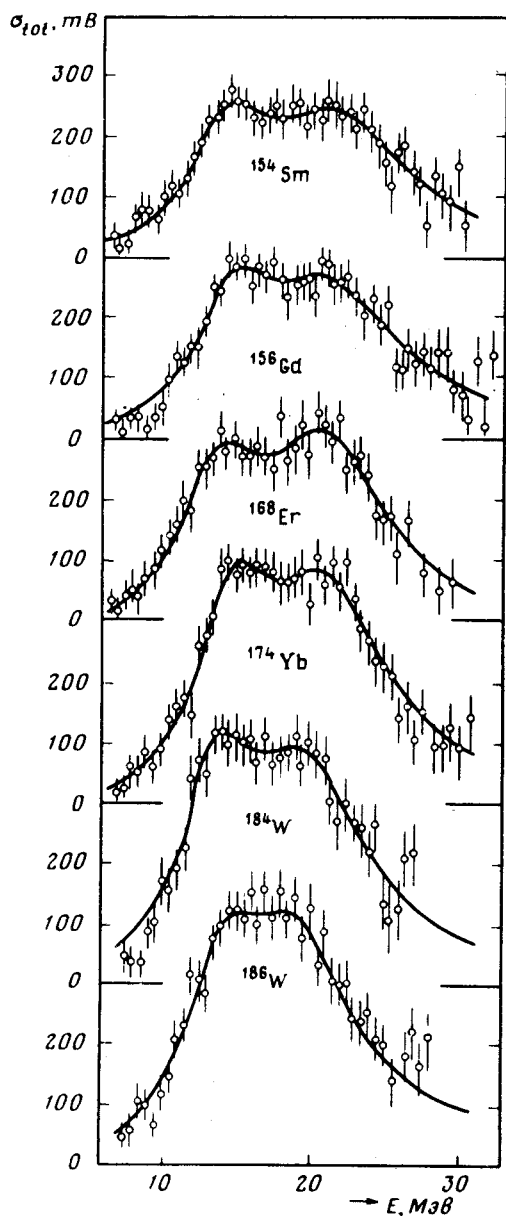


Рис. 2. Полные сечения фотопоглощения ядер —  $^{154}\text{Sm}$ ,  $^{156}\text{Gd}$ ,  $^{168}\text{Er}$ ,  $^{174}\text{Yb}$ ,  $^{184}\text{W}$  и  $^{186}\text{W}$ . Приведенные ошибки — среднеквадратичные

ния. Методика измерений подробно описана в статьях [5 – 7]. Полученные кривые сечения поглощения приведены на рис.2. Сплошные линии представляют результат аппроксимации экспериментальных данных двумя линиями Лоренца. Параметры этих линий (резонансные энергии

( $E_i$ ), сечения в максимумах ( $\sigma_i$ ), ширины на полувысоте ( $\Gamma_i$ ), рассчитанные методом наименьших квадратов, приведены в таблице. В таблице приведены также ширины  $E1$ -резонанса  $\Gamma^{1)}$ , полученные из отношений  $E_2/E_1$  значения внутренних квадрупольных моментов ядер ( $Q_0$ ) и параметров деформации  $\beta$ , и суммы интегральных сечений, рассчитанных для кривых Лоренца ( $\sigma_{oL} = \sigma_{oL_1} = \sigma_{oL_2}$ ). Среднее из отношений  $\sigma_{oL}/0,06 (ZN/A)$ , приведенных в последней столбце таблицы, для шести ядер получается равным  $1,39 \pm 0,05$ . Эта величина хорошо согласуется с теоретическим значением интегрального сечения  $\sigma_o$ , которое получается в работе [8], если доля обменных сил  $x = 0,5$  ( $\sigma_o = \int_0^\infty \sigma_{tot} dE = 0,06 \frac{ZN}{A} (1 + 0,8x)$ ).

На рис.3 сведены данные для величин  $\Delta\Gamma = [\Gamma - (E_2 - E_1)]$ , полученные из сечений  $\sigma_{tot}$ , измеренных методом поглощения в работе [1] и настоящей работе, и из кривых фотонейтронных сечений ( $\sigma_n = \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, pn) + \sigma(\gamma, 2n) \dots$ ), измеренных в работах с квазимонохроматическими пучками  $\gamma$ -квантов [3, 4] <sup>2)</sup>. Как видно из рис.3, при изменении  $A$  в пределах  $153 \leq A < 175$  величина  $\Delta\Gamma$  заметно уменьшается на величину примерно 0,7 Мэв. Во всем этом интервале  $\beta$  остается практически постоянным, поэтому уменьшение величины  $\Delta\Gamma$  может быть связано только с соответствующим уменьшением ширин  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Это подтверждается значениями  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  в этой области  $A$ , приведенными в таблице ( $\frac{\delta\Gamma_1}{2} + \frac{\delta\Gamma_2}{2} = \frac{1,5 \text{ Мэв}}{2} = 0,75 \text{ Мэв}$ ) <sup>3)</sup>. Относительные уменьшения ширин  $\delta\Gamma_1/\Gamma_1$  и  $\delta\Gamma_2/\Gamma_2$  примерно равны и составляют около 20%.

Для ядер с  $A > 175$  параметры деформации  $\beta$  начинают уменьшаться и следовательно кривые Лоренца сближаются и сильнее перекрываются.

В результате  $\Delta\Gamma$  становится несколько меньше величины  $\frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{2}$ . Кривая ( $\Gamma_1 + \Gamma_2$ ), приведенная на этом же рисунке, получена из сглаженной кривой  $\Delta\Gamma$  с учетом этой поправки. В согласии с данными, полученными для  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  в работе [1] и настоящей работе, кривая ( $\Gamma_1 + \Gamma_2$ ) имеет минимум в районе  $A \sim 175 + 180$ .

<sup>1)</sup> Величина  $\Gamma$  определяется как ширина  $E1$ -гигантского резонанса между точками, ординаты которых составляют половину от сечения в точке  $\bar{E} = (E_1 + 2E_2) \frac{1}{3}$ .

<sup>2)</sup> Экспериментальные величины  $\Gamma$  и  $E_i$  определяются с большей точностью чем  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , поэтому значения  $\Delta\Gamma$  ложатся на кривую меньшим разбросом.

<sup>3)</sup> Для ядер с  $A = 153 + 175$  (см. таблицу) сумма  $\left[ \frac{\Gamma_1}{2} + \frac{\Gamma_2}{2} + (E_2 - E_1) \right]$  совпадает с величиной  $\Gamma$  в пределах  $< 0,1 \text{ Мэв}$ .

Идпо	$E_1$ МэВ	$\sigma_1$ мбн	$\Gamma_1$ МэВ	$E_2$ МэВ	$\sigma_2$ мбн	$\Gamma_2$ МэВ	$\Gamma$ МэВ	$Q_0$ бн	$\beta$	$\sigma_{0L} / 0,06 \frac{ZN}{A}$
$^{154}\text{Sm}$	12,2	188	3,4	15,7	207	5,7	8,1 ± 0,2	6,3 ± 0,3	0,32 ± 0,02	1,28
$^{156}\text{Gd}$	12,3	206	3,2	15,7	220	5,5	7,7 ± 0,2	6,2 ± 0,3	0,31 ± 0,02	1,30
$^{168}\text{Er}$	11,9	222	3,2	15,5	275	4,5	7,4 ± 0,2	7,5 ± 0,7	0,32 ± 0,03	1,26
$^{174}\text{Yb}$	12,3	297	2,9	15,5	320	4,9	7,1 ± 0,2	7,0 ± 0,6	0,30 ± 0,02	1,52
$^{184}\text{W}$	11,9	315	2,9	14,8	321	4,7	6,8 ± 0,2	7,2 ± 0,8	0,27 ± 0,03	1,50
$^{186}\text{W}$	12,0	246	3,3	14,5	332	5,1	6,4 ± 0,2	6,2 ± 0,8	0,23 ± 0,03	1,48
Средняя ошибка	±1,3%	±10,5%	±7,5%	±1,3%	±9,4%	±3,8%	—	—	—	—

Как уже указывалось в работе [1], наблюдаемый эффект до последнего времени в литературе не обсуждался и объяснения пока не имеет.

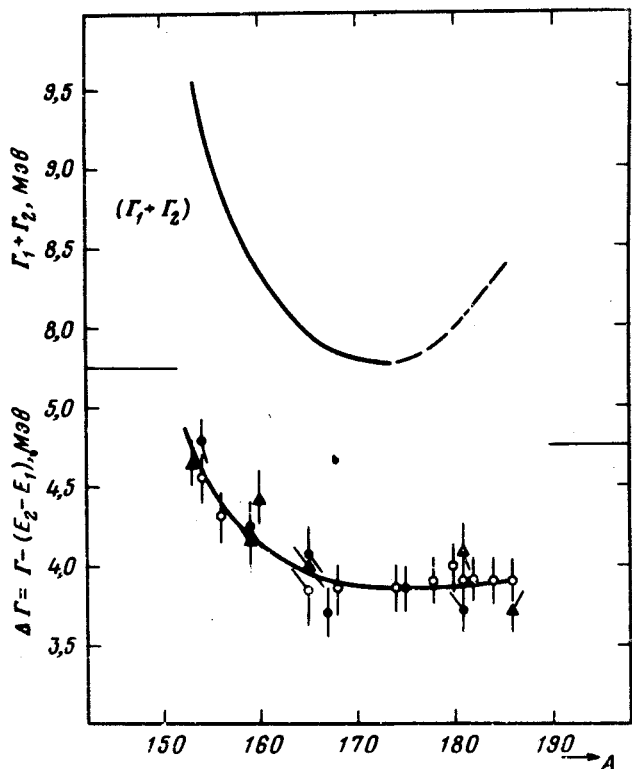


Рис. 3. Экспериментальные значения величины  $\Delta \Gamma = \Gamma - (E_2 - E_1)$  в области деформированных ядер с  $A = 153 \div 186$ : о — настоящая работа и работа [1]; ● — группа Сакле; ▲ — группа Ливермора. Из-за небольшого систематического сдвига абсолютных значений шкалы по оси ординат для данных группы Сакле и Ливермора соответственно сдвинуты на 0,15 МэВ вверх и вниз. Кривая  $(\Gamma_1 + \Gamma_2)$ , полученная из кривой  $\Delta \Gamma$  после введения поправок в интервале  $A = 175 \div 186$

Как одну из возможных причин уменьшения ширины  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  можно указать наличие в этой области  $A$  оболочечной структуры с числом нейтронов 108 (ядра  $^{180}\text{Hf}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{182}\text{W}$ ,  $^{184}\text{Os}$ ) [9]. Уменьшение ширины  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  в этом случае означало бы уменьшение числа возможных дипольных переходов или большую концентрацию переходов в области резонансных энергий, связанное с заполнением деформированной оболочечной структуры  $N = 108$ . Инте-

ресно заметить, что именно в той же области  $A$ , где нарушается корреляция между шириной  $E1$ -резонанса и параметром деформации  $\beta$ , в опытах по неупругому рассеянию электронов были обнаружены особенности в поведении плотности заряда внутри ядер ( $^{166}\text{Er}$ ,  $^{176}\text{Yb}$ ) [10].

Институт ядерных исследований  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
9 июня 1978 г.

### Литература

- [1] Г.М.Гуревич, Л.Е.Лазарева, В.М.Мазур, Г.В.Солодухов. Письма в ЖЭТФ, **23**, 411, 1976.
- [2] M.Danos. Nucl. Phys., **5**, 23, 1958.
- [3] B.Bülow, B.Forkman. Technical Reports Series No. 156. Handbook on Nuclear Activation Cross-sections, IAEA, Vienna, 1974, p.475.
- [4] B.L.Berman. Atomic Data and Nuclear Data Tables, **15**, 319, 1975.
- [5] G.M.Gurevich, L.E.Lazareva, V.M.Mazur, G.V.Solodukhov, B.A.Tulupov. Nucl. Phys., **A273**, 326, 1976.
- [6] Г.М.Гуревич, В.А.Запевалов, Л.Е.Лазарева, Г.В.Солодухов, В.И. Яворовский. ПТЭ, №4, 35, 1973.
- [7] Г.М.Гуревич, В.М.Мазур, Г.В.Солодухов. ПТЭ, №2, 59, 1975.
- [8] J.S.Levinger, H.A.Bethe. Phys. Rev., **78**, 115, 1950.
- [9] J.Jastrzebski. Acta Physica Polonica, **B3**, 397, 1972.
- [10] W.Bertozi. Труды III Семинара Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях. М., 8 — 10 декабря 1975 г., М., изд. Наука, 1976, стр. 213.