

## СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЙ ЗАРЯДОВЫЙ РАДИУС МАГИЧЕСКОГО ЯДРА $^{146}\text{Gd}$

Г.Д.Алхазов, А.Е.Барзах, В.П.Денисов, В.С.Иванов,  
И.Я.Чубуков, Н.Б.Буянов <sup>1)</sup>, В.С.Летохов <sup>1)</sup>,  
В.И.Мишин <sup>1)</sup>, С.К.Секацкий <sup>1)</sup>, В.Н.Федосеев <sup>1)</sup>.

Методом резонансной фотоионизации атомов определены изотопические сдвиги (ИС) для изотопов гадолиния с  $A = 146 - 160$ . По измеренным ИС вычислены изотопические изменения зарядовых радиусов, что позволило, учитывая известные зарядовые радиусы стабильных ядер  $\text{Gd}$ , впервые определить среднеквадратичный зарядовый радиус магического ядра  $^{146}\text{Gd}$ :  $\langle r^2 \rangle^{1/2} (^{146}\text{Gd}) = 4,984$  Фм.

В последние годы интенсивно обсуждается вопрос о магичности ядра  $^{146}\text{Gd}$ . Целый ряд экспериментальных данных, таких, как структура спектра возбуждения для  $^{146}\text{Gd}$ , наличие заметной щели в одночастичном протонном спектре, излом массовой поверхности при  $Z = 64$ ,  $N = 82$ , систематика энергий  $2^+$  - и  $3^-$ -уровней для соседних ядер и др. (см., например, <sup>1)</sup>) свидетельствуют в пользу предположения о магичности  $^{146}\text{Gd}$ .

Для проверки любой теоретической модели весьма желательно иметь как можно больше информации об этом "новом" магическом ядре. В частности, как раз такие характеристики магических ядер, как зарядовые радиусы и энергии связи, определяют выбор оптимальных параметров эффективных нуклон-нуклонных сил в рамках метода Хартри-Фока <sup>2)</sup>. Это связано с тем, что именно для магических ядер минимален вклад динамических эффектов в рассматриваемые характеристики.

Поскольку ядра  $^{146}\text{Gd}$  являются нестабильными, и их нельзя получить в больших количествах, традиционные методы измерения среднеквадратичных зарядовых радиусов (с помощью электронного рассеяния или из анализа спектров мезоатомов) непригодны для измерения  $\langle r^2 \rangle (^{146}\text{Gd})$ , так как обладают низкой чувствительностью.

Эту задачу можно решить с помощью исследования оптических изотопических сдвигов (ИС) для изотопов  $\text{Gd}$ . Так как зарядовые радиусы стабильных изотопов  $\text{Gd}$ , например,  $^{154}\text{Gd}$  с достаточной точностью измерены в экспериментах с мезоатомами, то, определив, по измеренным ИС величину

$$\Delta \langle r^2 \rangle_{146, 154} = \langle r^2 \rangle (^{154}\text{Gd}) - \langle r^2 \rangle (^{146}\text{Gd}) . \quad (1)$$

можно вычислить искомый зарядовый радиус  $^{146}\text{Gd}$ , что и сделано в настоящей работе.

Для измерения ИС был использован метод резонансной фотоионизации атомов. Этот метод, экспериментальная установка и методика эксперимента описаны в работах <sup>3, 4)</sup>. Измерения ИС проводились для перехода с длиной волны 585,16 нм. ИС исследуемой оптической линии  $\Delta \nu_{A, A'}$  для пары изотопов с массовыми числами  $A, A'$  может быть представлен в виде суммы <sup>5)</sup>:

$$\Delta \nu_{A, A'} = F \lambda_{A, A'} + M \frac{A' - A}{AA'} ,$$

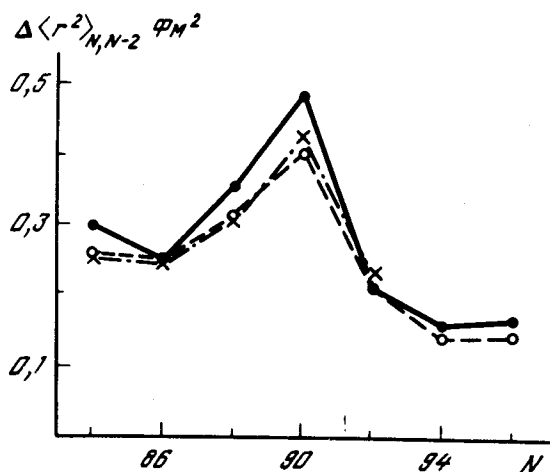
где

$$\lambda_{AA'} = \Delta \langle r^2 \rangle_{A, A'} + C_1 \Delta \langle r^4 \rangle_{A, A'} + C_2 \Delta \langle r^6 \rangle_{A, A'} + \dots$$

и константы  $C_k$  быстро убывают с ростом  $k$ . При определении величин  $F$  и  $M$  для рассматриваемого оптического перехода были использованы данные об изотопических сдвигах рент-

<sup>1)</sup> Институт спектроскопии АН СССР

геновских  $K$ -линий <sup>6</sup> и  $s$ -уровней мезоатомов <sup>7</sup>, а также данные об ИС для стабильных изотопов Gd на других оптических линиях <sup>8</sup>.



Дифференциальные изменения средних квадратов зарядовых радиусов ядер  ${}_{62}\text{Sm}^5$  – крестики,  ${}_{64}\text{Gd}$  (настоящая работа) – черные кружки,  ${}_{66}\text{Dy}^9$  – белые кружки

На рисунке представлены дифференциальные изменения зарядовых радиусов ядер Gd с  $N \geq 82$ . На этом же рисунке приведены величины  $\Delta \langle r^2 \rangle_{A, A-2}$ , полученные ранее для соседних четно-протонных ядер  ${}_{62}\text{Sm}^5$  и  ${}_{66}\text{Dy}^9$ . Изотопическая зависимость  $\Delta \langle r^2 \rangle$  для ядер Gd в целом аналогична соответствующим зависимостям для ядер Sm и Dy, в частности, отчетливо выделяется скачок величины  $\Delta \langle r^2 \rangle_{A, A-2}$  при  $N=88-90$ , связанный с резким изменением деформации соответствующих ядер. Отметим, что скачкообразный характер изменения деформации в районе  $N=88-90$  наблюдается только для ядер с  $Z$ , близким к  $Z=64$ <sup>9,6</sup>, что, как полагают авторы работ <sup>1,9,10</sup>, связано с магичностью числа  $Z=64$ . Как видно из рисунка, как раз для  ${}_{64}\text{Gd}$  скачок  $\Delta \langle r^2 \rangle$  при  $N=88-90$  максимален по сравнению с соседними четно-протонными ядрами.

Для определения значения зарядового радиуса магического ядра  ${}^{146}\text{Gd}$  было использовано равенство (1), где величина  $\langle r^2 \rangle ({}^{154}\text{Gd})$  бралась согласно результатам мезоатомных экспериментов <sup>7</sup> равной  $\langle r^2 \rangle ({}^{154}\text{Gd}) = 26,239(42)$  Фм<sup>2</sup>, а значение  $\Delta \langle r^2 \rangle_{154,146} = -1,40(12)$  Фм<sup>2</sup> было получено в настоящей работе. В результате получены значения:

$$\langle r^2 \rangle ({}^{146}\text{Gd}) = 24,84(16) \text{ Фм}^2 \quad \text{и} \quad \langle r^2 \rangle^{1/2} ({}^{146}\text{Gd}) = 4,984(16) \text{ Фм.}$$

Главный вклад в погрешность среднеквадратичного зарядового радиуса магического ядра  ${}^{146}\text{Gd}$  дает погрешность величины  $\Delta \langle r^2 \rangle_{154,146}$ , которая, в свою очередь, практически полностью определяется погрешностями констант  $F$  и  $M$ .

Зарядовый радиус магического ядра  ${}^{146}\text{Gd}$  может быть использован для поиска оптимальной параметризации эффективных сил. Мы провели сравнение полученного экспериментального значения с результатами расчетов по методу Хартри – Фока с различными эффективными силами. Наилучшими с точки зрения описания  $\langle r^2 \rangle ({}^{146}\text{Gd})$  оказались силы  $SkM'$ <sup>11</sup> и  $SG2$ <sup>12</sup> (4,992 Фм и 4,980 Фм соответственно), а наихудшими – силы  $S3$ <sup>2</sup> (5,045 Фм) и  $S6$ <sup>2</sup> (5,060 Фм). Полученное для сил  $SkM'$  согласие теории и эксперимента свидетельствует в пользу правомерности использования этих сил для расчетов в области нестабильных ядер. Значение  $\langle r^2 \rangle ({}^{146}\text{Gd})$ , определенное в настоящей работе, может оказаться весьма важным для дальнейшего уточнения параметров эффективного взаимодействия, поскольку это единственное известное к настоящему времени значение среднеквадратичного зарядового радиуса для магического ядра, удаленного от дорожки стабильности.

## Литература

1. *Hamilton J.H., Hansen P.G.* Zganjar. Rep. Prog. Phys., 1985, 48, 630.
2. *Beiner M. et al.* Nucl. Phys., 1975, A238, 29,
3. *Fedoseev V.N. et al.* Opt. Comm., 1984, 52, 24.
4. *Мишин В.И. и др.* ЖЭТФ, 1987, 93, 410.
5. *Heilig K., Steudel A.* ADNDT, 1974, 14, 616.
6. *Boehm F., Lee P.L.* ADNDT, 1974, 14, 605.
7. *Laubacher D.B. et al.* Phys. Rev., 1983, C27, 1772.
8. *Борисов С.К. и др.* ЖЭТФ, 1987, 93, 1545.
9. *Neugart R.* In: Nucl. Phys., ed. by C. E. Bemis and H. K. Carter, Chur-London-New York, Harwood, 1982.
10. *Casten R.F. et al.* Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 1433.
11. *Bartel J. et al.* Nucl. Phys., 1982, A386, 79.
12. *Van Giai N., Sagawa H.* Phys. Lett., 1971, 106B, 379.

Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
28 июля 1988 г.