

**ОБОЛОЧЕЧНЫЙ ЭФФЕКТ В ИЗОТОПИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ
СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫХ ЗАРЯДОВЫХ РАДИУСОВ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ЯДЕР ЕВРОПИЯ, ИЗМЕРЕННОЙ МЕТОДОМ
ЛАЗЕРНОГО ФОТОИОНИЗАЦИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
"В ЛИНИЮ" С УСКОРИТЕЛЕМ**

Г.Д.Алхазов¹⁾, А.Е.Барзах¹⁾, Э.Е.Берлович¹⁾, В.П.Денисов¹⁾,
А.Г.Дернятин¹⁾, В.С.Иванов¹⁾, В.С.Летохов²⁾,
В.И.Мишин²⁾, В.Н.Федосеев²⁾

"В линию" с масс-сепаратором и протонным синхротронном впервые измерены изотопические сдвиги линии 576,5 нм изотопов ^{141, 142, 143, 144, 145}Eu методом лазерной резонансной фотоионизации атомов. Впервые, также, осуществлена селективная ступенчатая фотоионизация ^{142m}Eu и, тем самым, показана возможность лазерного разделения изомеров.

Изотопическая зависимость среднеквадратичных зарядовых радиусов (СЗР) ядер имеет излом при магическом числе нейтронов $N_{\text{маг}}$ и характеризуется более медленной скоростью изменения при числе нейтронов $N < N_{\text{маг}}$, чем при $N > N_{\text{маг}}$.

Такой оболочечный эффект наблюдался у всех достаточно длинных (по обе стороны от $N_{\text{маг}}$) изотопических цепочек (Rb, Ba, Cs¹⁾). Вместе с тем, во всех случаях наблюдения оболочечного эффекта магическое по нейтронам ядро было стабильным или близким к полосе стабильности. Поэтому представляется интересным исследовать указанный оболочечный эффект, когда магическое ядро заметно удалено от области стабильности.

С этой целью в настоящей работе измерялись изотопические изменения $\Delta \langle r^2 \rangle$ СЗР для изотопов европия при $N \leq 82$ с $A = 141 - 145$ (¹⁴⁵Eu – магическое ядро, ближайшее стабильное – ¹⁵¹Eu). Данные о $\Delta \langle r^2 \rangle$ изотопов европия в области $N \geq 82$ были получены нами ранее²⁾. Как и в предыдущей работе²⁾, значения $\Delta \langle r^2 \rangle$ определялись по изотопическим сдвигам (ИС) линии 576,5 нм атома Eu, измеренным методом лазерной резонансной ионизации атомов³⁾.

1) Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова АН СССР.

2) Институт спектроскопии АН СССР.

Эксперименты проводились в ЛИЯФ АН СССР на лазерно-ядерном комплексе, созданном совместно с ИСАН СССР на базе синхротронного ускорителя протонов 1 ГэВ и масс-сепаратора ИРИС. Малые времена жизни исследуемых изотопов (меньше нескольких минут) потребовали разработки и применения иной техники измерений по сравнению с использованной ² для долгоживущих изотопов, — техники измерений "в линию" с ускорителем и масс-сепаратором.

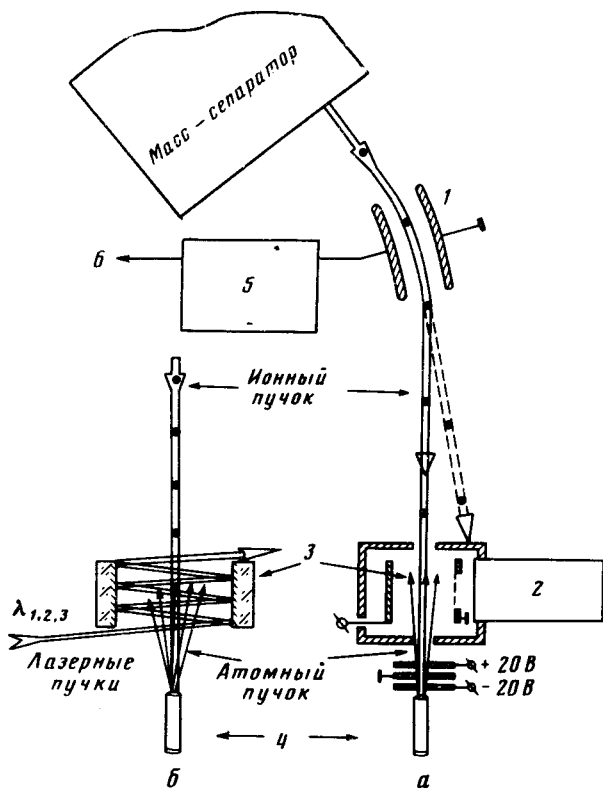


Рис. 1

Рис. 1 а, б. Расположение ионного, атомного и лазерных пучков при фотоионизации радиоактивных изотопов "в линию" с протонным ускорителем: 1 — электрод системы выключения сепарированного ионного пучка, 2 — вторичный электронный умножитель (ВЭУ), 3 — зеркала световой многопроходовой системы, 4 — горячий танталовый цилиндр с дном, 5 — генератор электрических импульсов (50 В, 20 мкс, 10^4 имп/с), 6 — синхронизация с блоком питания лазера на парах меди

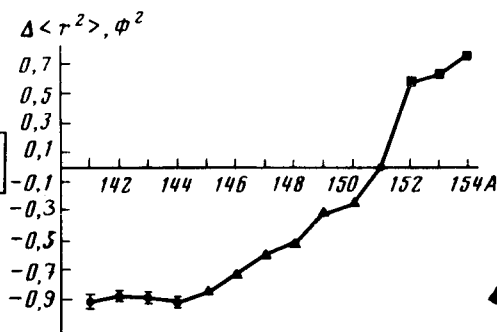


Рис. 2. Зависимость средневладратичных зарядовых радиусов ядер европия от атомного номера A : \ddagger — настоящая работа, \blacktriangle — данные работы ², \blacksquare — данные работы ¹¹

Исследуемые изотопы образовывались в танталовой мишени (20 г) масс-сепаратора при облучении пучком протонов с интенсивностью около 10^{12} с^{-1} . Ионный пучок с энергией 30 кэВ сепарированного изотопа направлялся из масс-сепаратора внутрь закупоренной на конце танталовой трубки (длиной 50 мм и диаметром 5 мм). При ее нагревании (1500°C) имплантированные ионы вылетали в обратном направлении в виде коллимированного пучка (рис. 1). Система диафрагм под различными потенциалами запирала тепловые ионы и электроны. Атомы возбуждались в автоионизационное состояние тремя пучками лазерного излучения, пересекавшими атомный пучок под прямым углом. Схема возбуждения, лазерная техника и система регистрации описаны в работах ^{2, 4}. По сравнению с указанными работами эффективность фотоионизации была увеличена за счет применения двух плоских зеркал, которые обеспечивали многократное прохождение (до 15 раз) лазерных пучков через атомный (рис. 1, б). Средняя мощность излучения лазеров на красителях на первой ступени возбуждения — 40 мВт, на второй — 200 мВт и на третьей — 300 мВт.

Измерения проводились в двух режимах. Изотопы со сравнительно большим периодом полураспада ($T_{1/2} \gtrsim 1$ мин) накапливались в холодной трубке в течение $3 \cdot T_{1/2}$, затем ионный пучок масс-сепаратора выключался и трубка быстро нагревалась. Продолжительность выпаривания была около 20 с. Уровень фоновых импульсов составил около $0,1 \text{ с}^{-1}$. Такой

режим применялся для $^{141, 142, 143}\text{Eu}$. Он позволил выделить из группы изомеров данных изотопов долгоживущие, так как короткоживущие к моменту измерений распались.

Описанный режим непригоден для изотопов с $T_{1/2} \lesssim 30$ с. В этом случае опыты проводились с постоянно нагретой трубкой. Пучок из масс-сепаратора прерывался на 20 мкс за 10 мкс до появления импульса лазерного излучения (с частотой следования импульсов 10 кГц и длительностью 17 нс). Это обеспечивало рассасывание ионов, образуемых в остаточном газе (давление $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) пучком из масс-сепаратора, к моменту регистрации, длящейся 5 мкс. В результате фон составлял 1 с^{-1} . В этом режиме проведены измерения для ^{144}Eu ($T_{1/2} = 10,2$ с) и повторены для ^{143}Eu . Для проведения измерения были достаточны потоки 10^4 с^{-1} . Эффективность детектирования атомов европия – отношение потока зарегистрированных фотоионов к потоку ионов из масс-сепаратора при фиксированной частоте лазера первой ступени, настроенной в центр атомной линии, составила $3 \cdot 10^{-4}$.

В таблице представлены измерения ИС (относительно ^{151}Eu) и извлеченные из них (аналогично тому, как это было сделано в ²) величины $\lambda^{151, A}$, близкие к значениям $\Delta < r^2 >^{151, A}$. На рис. 2 показан ход $\Delta < r^2 >^{151, A}$. Четко проявляется оболочечный эффект: с уменьшением N при переходе $N_{\text{маг}} = 82$ резко замедляется спад СЗР. Оболочечный эффект можно объяснить поведением эффективной деформации ядра $\beta_{\text{эфф}} = \langle \beta^2 \rangle^{1/2}$, принимающей минимальное значение при $N = N_{\text{маг}}$. Мы нашли величины $\beta_{\text{эфф}}$ из сравнения выражения для $\lambda^{A, A}$ ($\beta_{\text{эфф}}$), даваемого капельной моделью ⁵ и измеренных значений $\lambda^{A, A}$, полагая, что $\beta_{\text{эфф}}(^{145}\text{Eu}) = \beta_{\text{эфф}}(^{144}\text{Sm})$, где последняя величина определялась из данных о $B(E2)$ ⁶. Полученные значения $\beta_{\text{эфф}}$, обозначенные как $\beta_{\text{км}}$, даны в таблице. Интересно сравнить эти величины с независимо определенными значениями $\beta_{\text{пми}}$.

A	N	$T_{1/2}$	$\Delta \nu^{151, A}$ (ГГц)	$\lambda^{151, A}$ (Φ^2)	$\beta_{\text{км}}$	$\beta_{\text{пми}}$
145	82	5,94 дн	- 5,03 (14)	- 0,835 (23)	0,09	0,09
144	81	10,2 с	- 5,3 (2)	- 0,88 (3)	0,09 (3)	-
132	80	2,6 мин	- 5,05 (25)	- 0,84 (4)	0,13 (2)	0,12
142 m	79	1,2 мин	- 5,0 (2)	- 0,83 (3)	0,16 (2)	-
141	78	37 с	- 5,2 (3)	- 0,87 (5)	0,16 (2)	0,14

К сожалению, необходимых для такого определения данных о $B(E2)$ -соседних четно-протонных ядер Sm и Gd нет. Однако, энергии квазиротационных уровней у этих ядер хорошо известны ⁷. По этим энергиям с помощью модели переменного момента инерции ⁸ можно оценить требуемые значения $B(E2)$ для четно-четных ядер Sm и Gd и получить из них величины $\beta_{\text{эфф}}$, а значения $\beta_{\text{эфф}}$ у нечетно-четных ядер Eu принять равными

$$\beta_{\text{эфф}}(^{63}\text{Eu}_N) = \frac{1}{2} \{ \beta_{\text{эфф}}(^{62}\text{Sm}_N) + \beta_{\text{эфф}}(^{64}\text{Gd}_N) \}.$$

Оцененные таким способом значения $\beta_{\text{эфф}}(\text{Eu}) \equiv \beta_{\text{пми}}$ (см. таблицу) хорошо согласуются со значениями $\beta_{\text{км}}$. Полученное согласие значений $\beta_{\text{км}}$ с $\beta_{\text{пми}}$ может рассматриваться в пользу существующих представлений об определяющей роли эффективной деформации в оболочечном эффекте изотопической зависимости СЗР.

Считается, что у ядер в рассматриваемой области (при $N \leq 82$, вблизи $N_{\text{маг}} = 82$) деформация носит динамический характер, они являются γ -нестабильными и, возможно, неаксиальными ⁹.

Для изучения отмеченных аспектов желательнее измерить электро-магнитные моменты этих ядер. Большое значение имеет также изучение ИС у изотопов европия с $N < 78$, так как у них ожидается существование заметной статической деформации¹⁰.

Отметим, что в данном эксперименте впервые осуществлена селективная ступенчатая фотоионизация атомов с возбужденным ядром ^{142m}Eu (период полураспада 1,2 мин). Коллектирование ионов с таким ядром происходило на катоде ВЭУ.

Авторы благодарят за помощь в создании экспериментальной установки сотрудников Института спектроскопии АН СССР О.Н.Компанца и И.Н.Нестерука.

Литература

1. Otten E.-W. In International School-Seminar on Heavy Ion Physics, Alushta, 1983. Дубна, 1983, стр. 158.
2. Жерихин А.Н., Компанец О.Н., Летохов В.С., Мишин В.И., Федосеев В.Н., Алхазов Г.Д., Барзах А.Е., Берлович Э.Е., Денисов В.П., Дерягин А.Г., Иванов В.С. ЖЭТФ, 1984, 86, 1249.
3. Балыкин В.И., Беков Г.И., Летохов В.С., Мишин В.И. УФН, 1980, 132, 293.
4. Алхазов Г.Д., Барзах А.Е., Берлович Э.Е., Дерягин В.Л., Иванов В.С., Жерихин А.Н., Компанец О.Н., Летохов В.С., Мишин В.И., Федосеев В.Н. Препринт ЛИЯФ – 908, Л., 1983.
5. Myers W.D., Schmidt K.-H. Nucl. Phys., 1983, A410, 61.
6. Tuli J.K. NDS, 1979, 27, 97.
7. Sakai M., Rester A.C. ADNDT, 1977, 20, 441.
8. Mariscotti M.A.J. et al. Phys. Rev., 1969, 178, 1864.
9. Habs D. et al. Zs. Phys., 1974, 267, 149.
10. Leander G.A., Möller P. Phys. Lett., 1983, 110B, 17.
11. Heilig K., Steudel A. ADNDT, 1974, 14, 613.