

## $2K2\nu$ -ЗАХВАТ $^{124}\text{Xe}$ : МЕТОДИКА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Ю. М. Гаврилюк<sup>1</sup>, А. М. Гангапшев<sup>1</sup>, В. В. Казалов<sup>1,\*</sup>,  
В. В. Кузьминов<sup>1</sup>, С. И. Панасенко<sup>2</sup>, С. С. Раткевич<sup>2</sup>,  
Д. А. Текуева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований РАН, Москва

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков, Украина

Представлено краткое описание методики, используемой в эксперименте по поиску  $2K2\nu$ -захвата  $^{124}\text{Xe}$  с помощью больших пропорциональных счетчиков высокого давления. В результате обработки данных, накопленных за 3340 ч измерений с образцом ксенона, обогащенного изотопом  $^{124}\text{Xe}$  до 21 % (~ 57 г), получен верхний предел периода полураспада для  $2\nu$ -моды захвата двух электронов с  $K$ -оболочки  $T_{1/2} \geq 4,6 \cdot 10^{21}$  лет на 90%-м уровне достоверности.

A brief description of the method used in the experiment to search for  $2K2\nu$ -capture processes of  $^{124}\text{Xe}$  using large high-pressure proportional counters with a sample of enriched xenon up to 21% (~ 57 g) is presented. The results of processing the data obtained in 3340 h of live measurement time are presented. We established a new limit with  $T_{1/2} \geq 4.6 \cdot 10^{21}$  y at 90% CL.

PACS: 23.40.-s

### ВВЕДЕНИЕ

Двойной двухнейтринный электронный захват наравне с двойным  $\beta$ -распадом — очень важный фундаментальный процесс. Экспериментальное измерение вероятности двухнейтринной моды распада позволяет провести прямую проверку различных моделей ядерной структуры и, следовательно, сравнить правильность расчетов ядерных матричных элементов, определяющих вероятность безнейтринной моды двойного  $\beta$ -распада, вызывающей особый интерес. В отличие от двойного  $\beta$ -распада двойной электронный захват в прямых экспериментальных исследованиях до сих пор не обнаружен. Имеется только указание на уровне  $2,5\sigma$  в случае  $2K2\nu$ -моды распада в  $^{78}\text{Kr}$  [1].

---

\*E-mail: v.kazalov@gmail.com

В Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН в течение ряда лет проводятся эксперименты по поиску  $2K2\nu$ -захвата на различных изотопах высокоочищенных инертных газов с помощью нескольких медных пропорциональных счетчиков (МПС) объемом 10,93 л каждый. Эксперименты проводятся в уникальной низкофоновой лаборатории глубокого заложения НЛГЗ-4900, детальные характеристики которой представлены в работе [2]. Конструкция счетчиков соответствует классической схеме с одной центральной анодной нитью. Фоновые и спектрометрические характеристики счетчиков описаны в [3–5].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

В результате реакции  $^{124}\text{Xe}(2e_K, 2\nu)^{124}\text{Te}$  образуется уникальное состояние дочернего изотопа: нейтральный атом с как бы приподнятой оболочкой, «обнажающей» обе вакансии в  $K$ -оболочке. Методика поиска этой реакции основана на предположении, что энергии характеристических фотонов и вероятности их излучения при заполнении двойной вакансии в первом приближении близки к энергиям обычных квантов флуоресценции. В этом случае полная регистрируемая энергия равна  $2K_{\text{аб}} \approx 63,62$  кэВ, где  $K_{\text{аб}}$  — энергия связи  $K$ -электрона в атоме Те (31,809 кэВ). Выход флуоресценции при заполнении одиночной вакансии на  $K$ -оболочке Те равен 0,857. Вероятности снятия возбуждения только оже-электронами ( $e_a, e_a$ ), одним характеристическим квантом и оже-электроном ( $K, e_a$ ), двумя характеристическими квантами и оже-электронами малой энергии ( $K, K, e_a$ ) равны соответственно  $p_1 = 0,020$ ,  $p_2 = 0,246$  и  $p_3 = 0,734$ .

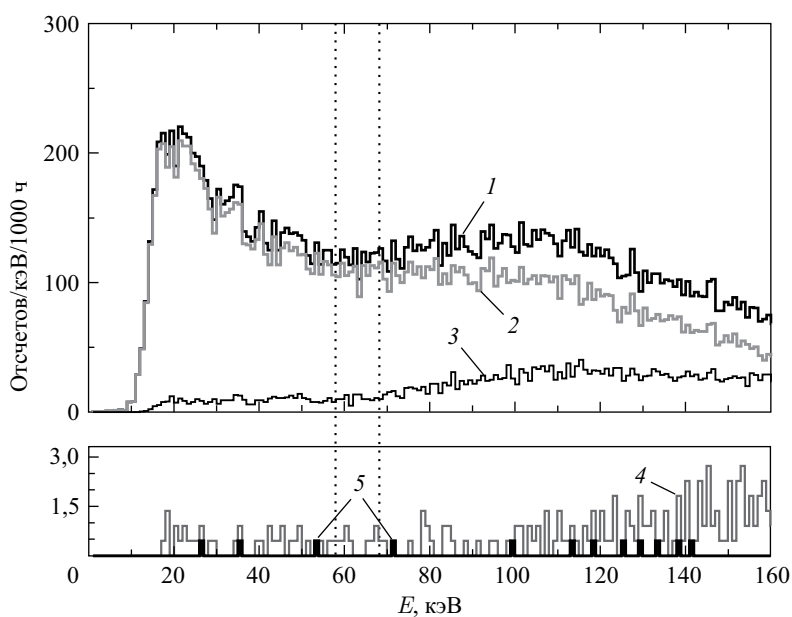
В газе характеристические кванты могут пройти достаточно большое расстояние от точки рождения до поглощения. Электроны же, в отличие от фотонов, остаются в области рождения и создают практически точечное энерговыделение. В случае события с вылетом двух характеристических квантов и каскада оже-электронов ( $K + K + e_a$ ), поглотившихся в рабочем газе, энергия будет распределена в трех точечноподобных зарядовых кластерах. Именно эти события, обладающие уникальным набором признаков, являются предметом поиска в данной работе.

Рабочей средой МПС служит образец ксенона объемом 50 л, обогащенный изотопом  $^{124}\text{Xe}$  до 21 %, что соответствует  $\sim 57$  г  $^{124}\text{Xe}$ . Поскольку счетчик имеет большой объем, рабочий газ в процессе длительных измерений подвергается значимому микрозагрязнению от утечек из микротрещин корпуса и торцевых уплотнителей, что приводит к ухудшению спектрометрических характеристик. Поэтому через каждые  $\sim 1500$  ч счетчик перезарядняется очищенным от электроотрицательных примесей образцом газа. МПС калибруется радиоактивным  $\gamma$ -излучением источника  $^{109}\text{Cd}$  через стенку корпуса каждые две недели набора данных.

Использование в качестве рабочей среды счетчика чистого газа, без гасящих добавок, позволяет отбраковывать приторцевые события, где коэффициент газового усиления отличается от рабочего. Для этого используется отношение амплитуды послеимпульса к первичному импульсу (см. [5]).

Съем сигналов от детектора осуществляется с одной стороны анодной нити с помощью зарядово-чувствительного усилителя (ЗЧУ). Параметры ЗЧУ подобраны такими, что сигнал передается с минимальными искажениями и пространственное распределение зарядов первичной ионизации в проекции на радиус счетчика определяет форму импульса.

После усиления импульсы поступают на вход цифрового осциллографа, встроенного в персональный компьютер, и сохраняются на жестком диске. Набранные данные подвергаются цифровой обработке в режиме off-line. Зарядовый импульс с ЗЧУ преобразуется в токовый сигнал, колоколообразная форма которого позволяет описывать гауссианом одноточечное событие, а в случае многоточечного — набором нескольких гауссианов. В результате весь набор данных был разделен на группы (спектры) одно-, двух- и трехточечных событий. На рисунке приведены полный спектр (1), спектры одно- (2), двух- (3) и трехточечных (4) событий, нормированные на 1000 ч.



Амплитудные спектры фона МПС, нормированные на 1000 ч: 1 — полный спектр всех событий; 2–4 — спектры одно-, двух- и трехточечных событий соответственно; 5 — спектр трехточечных событий, отобранный при условии  $5,0 < m_0 < 13,0$  кэВ и  $m_1/m_2 > 0,7$

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для поиска событий от  $2K2\nu$ -захвата используются импульсы с определенным набором параметров. Каждое событие из спектра (4) характеризуется набором энерговыделений, распределенных по трем точечноподобным областям рабочего объема счетчика. Амплитуды парциальных токовых импульсов, записанные в порядке появления как  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , распределялись по величине в последовательность  $m_0 < m_1 < m_2$ . Рассортировав точечные энерговыделения этих событий по возрастанию, мы можем отобрать только те из них, которые содержат малую компоненту в диапазоне энерговыделения  $5 < m_0 < 13$  кэВ, а отношение ( $m_1/m_2$ ) двух других больше 0,7. Спектр событий с такими характеристиками представлен на рисунке черными столбиками (5).

События от  $2K2\nu$ -захвата должны находиться в пределах энергии от 58,7 до 68,5 кэВ. Как видно из рисунка, фон в искомом интервале энергии составляет 0 событий. Пользуясь рекомендациями работы [6], можно определить, что эффект от  $2K2\nu$ -захвата не превышает 2,44 событий, что дает новый предел периода полураспада  $^{124}\text{Xe}$  относительно  $2K2\nu$ -захвата  $T_{1/2} \geq 4,6 \times 10^{21}$  лет на 90%-м уровне достоверности.

Измерения продолжаются. Работа выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 16-32-00018-мол\_а).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gavrilyuk Yu. M. et al. // Phys. Rev. C. 2013. V. 87. P. 035501.*
2. *Gavriljuk Ju. M. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2013. V. 729. P. 576.*
3. *Gavrilyuk Yu. M. et al. // Instr. Exp. Techn. 2010. V. 53. P. 57.*
4. *Gavrilyuk Yu. M. et al. // Phys. At. Nucl. 2013. V. 76. P. 1063.*
5. *Gavrilyuk Yu. M. et al. // Phys. At. Nucl. 2015. V. 78. P. 1563.*
6. *Feldman G. J., Cousins R. D. // Phys. Rev. D. 1998. V. 57. P. 3873.*