

# НАБЛЮДЕНИЕ $2\beta 2\nu$ -РАСПАДА $^{150}\text{Nd}$ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ВРЕМЯ-ПРОЕКЦИОННОЙ КАМЕРОЙ

*В.А.Артемьев, С.И.Васильев\*, Э.В.Брахман, О.Я.Зельдович,  
А.К.Карелин, В.В.Кириченко, А.А.Клименко\*, О.М.Козодаева,  
В.А.Любимов, А.И.Митин, С.Б.Осетров\*, В.Н.Парамохин,  
А.А.Поманский\*, А.А.Смольников\*, Т.Н.Цветкова*

*Институт теоретической и экспериментальной физики  
117259 Москва, Россия*

*\*Институт ядерных исследований РАН  
117312 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 9 июля 1993 г.

С помощью время-проекционной камеры в магнитном поле определен период полураспада  $^{150}\text{Nd}$ . Из измерений образцов  $^{150}\text{Nd}$  (92% обогашения) и  $^{nat}\text{Nd}$  (природный изотопный состав) найдено, что  $T_{1/2}(2\beta 2\nu) = (1,7_{-0,5}^{+1,0} \pm 0,35) \cdot 10^{19}$  лет. Отношение эффект/фон составляет 4/1.

Безнейтринный двойной бета-распад продолжает оставаться одним из самых исследуемых процессов, так как он может обеспечить чувствительную проверку закона сохранения лептонного числа и наличия майорановской массы нейтрино. За последние годы заметен прогресс как в повышении точности экспериментов, так и в расширении круга исследуемых изотопов [1]. Изотоп  $^{150}\text{Nd}$  – один из самых перспективных для исследования безнейтринного двойного бета-распада из-за его большой энергии перехода (3,37 МэВ) и большого кулоновского фактора.

Интерпретация полученных результатов как предела на массу нейтрино и параметров несохранения лептонного числа сильно зависит от теоретических вычислений ядерных матричных элементов [2], достаточно неопределенных. Проверкой правильности вычислений служит сравнение теоретических и экспериментальных периодов полураспада для  $2\beta 2\nu$ -моды. В настоящес время  $2\beta 2\nu$ -распад наблюдают в прямых экспериментах для изотопов:  $^{76}\text{Ge}$  [3],  $^{82}\text{Se}$  [4],  $^{100}\text{Mo}$  [5].

Существует всего несколько работ, в которых исследовался  $2\beta$ -распад  $^{150}\text{Nd}$ . Одна из первых – работа, выполненная в Баксанской нейтринной обсерватории [6]. В работе разностным методом (один образец был обогашен изотопом  $^{150}\text{Nd}$  до 92%, другой образец с природным содержанием изотопа 5,6%) был получен предел  $T_{1/2}(2\beta 2\nu) > 1,8 \cdot 10^{19}$  лет (95% У.Д.).

Для исключения фона от радиоактивных примесей образец  $^{150}\text{Nd}$  подвергли дополнительной очистке методом ионных ловушек в Ames Chemical Laboratory (Iowa, USA). После очистки он был разделен на две части. Первый источник (18 г  $^{150}\text{Nd}$ ) измерялся группой М.Моу на время-проекционной камере (TPC – Time Projection Chamber) в подземной лаборатории в США; второй источник (38,5 г  $^{150}\text{Nd}$ ) – в сцинтилляционном спектрометре ИЯИ (Баксан). Предварительные результаты группы М.Моу [7] указывают на существование  $2\beta 2\nu$ -распада с  $T_{1/2} \approx 9 \cdot 10^{18}$  лет. Вместе с тем, в измерениях ИЯИ, проведенных за 650 ч [8], положительный эффект не обнаружен, что соответствует

пределу  $T_{1/2} > 1,1 \cdot 10^{19}$  лет (90% У.Д.).

Так как в работе ИТЭФ с  $^{136}\text{Xe}$  на ТРС была достигнута чувствительность порядка  $\sim 10^{20}$  лет [9], было естественно провести экспозицию источника  $^{150}\text{Nd}$  ИЯИ в детекторе ИТЭФ. ТРС ИТЭФ [10] позволяет использовать как газообразные ( $^{136}\text{Xe}$ ) так и твердые ( $^{150}\text{Nd}$ ,  $^{100}\text{Mo}$  и др.) источники. Камера находится в магнитном поле 800 гаусс, которое обеспечивает разрешение по импульсу  $\sim 10\%$  при энергии электронов 1 МэВ и отсекает фоновые события из боковых стенок. Тонкий твердый источник распределяется на майларовой пленке, разделяющей два газовых объема. Оба объема заполнены метаном при 1 атм. При рабочей площади  $0,5 \text{ м}^2$  и массе образца 100 г эффективная толщина источника  $20 \text{ мг/см}^2$ . При такой толщине достигается подавление фона двойного комптоновского и комптон-меллеровского рассеяния от внешних источников до уровня 1 соб./200 ч. Трековая информация в верхнем объеме определяет направление движения электронов и отсекает события, связанные с верхней крышкой. Нижний объем работает как активная защита от нижней крышки. Таким образом выделяются только события, связанные с источником.

Для изготовления тонкого источника нагретый насыщенный раствор воска в толуоле смешивается с порошком  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , наносится на майларовую пленку толщиной 50 мкм, разравнивается и высушивается теплым воздухом. Весовое соотношение 17 мг  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  и 7,5 мг воска на  $1 \text{ см}^2$  было подобрано для устойчивого покрытия на майларе.

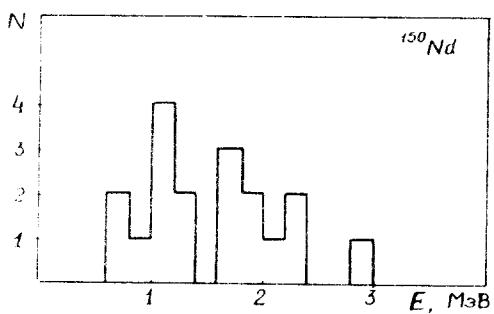


Рис.1

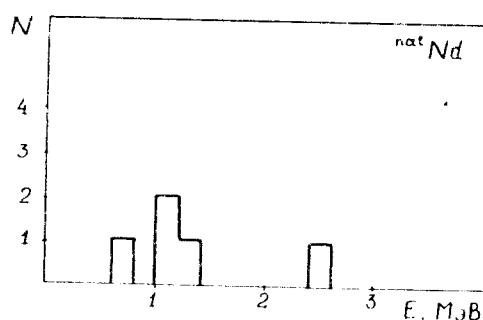


Рис.2

Рис.1. Распределение по сумме кинетических энергий двух электронов для событий из источника, обогащенного изотопом  $^{150}\text{Nd}$  (670 ч)

Рис.2. Распределение по сумме кинетических энергий двух электронов для событий из источника с природным содержанием изотопов (560 ч)

Было проведено несколько циклов измерений. В первом сеансе на пленке были изготовлены одновременно два источника: источник  $^{nat}\text{Nd}$  (45 г  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) и источник с образцом  $^{150}\text{Nd}$  (13,5 г  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ). Время измерений 450 ч. Во втором сеансе масса источника  $^{nat}\text{Nd}$  была уменьшена до 15 г, а источника с образцом  $^{150}\text{Nd}$  увеличена до 51,5 г. Время измерений 550 ч. Данные с установки после "off-line" и "on-line" фильтрации просматривались физиками для поиска двухэлектронных событий, выходящих из источника с энергией каждого электрона от 0,25 до 1,8 МэВ. Эффективность просмотра составляет 86%. На рис.1 и 2 приведены распределения по сумме кинетических энергий двух электронов в отобранных событиях для образцов  $^{150}\text{Nd}$  и  $^{nat}\text{Nd}$ . Время измерений, приведенное к массе источника 51,5 г  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , на рис.1 составляет

670 ч, а на рис.2 – 560 ч. Наблюдается значительное (в 4 раза) превышение числа двухэлектронных событий от образца  $^{150}\text{Nd}$ .

До и после основных сеансов были проведены дополнительные экспозиции 64 и 53 ч для определения содержания в источнике  $^{238}\text{U}$ . Регистрировался каскад: электрон от распада  $^{214}\text{Bi}$  и задержанная  $\alpha$ -частица от распада  $^{214}\text{Po}$  с периодом полураспада 164 мкс. Подробно эта методика описана в работе [11]. Был получен предел на счет  $\beta - \alpha$ -совпадений  $< 0,1$  отсчет/ч как для  $^{150}\text{Nd}$ , так и для  $^{nat}\text{Nd}$ . Используя отношение между счетом  $\beta - \alpha$ -совпадений и счетом событий с двумя электронами, полученное при работе с  $^{136}\text{Xe}$  [11], при эффективности выхода  $\alpha$ -частиц из твердого источника  $\sim 10\%$ , нашли, что фон двухэлектронных событий за счет возможной примеси  $^{238}\text{U}$  не может превышать 2 отсчета/600 ч из источника массой 50 г  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ . Считая, что равновесие уранового ряда не нарушено, получили оценку  $< 0,5 \cdot 10^{-9}$  атом/атом на возможное содержание  $^{238}\text{U}$  в образцах  $^{150}\text{Nd}$  и  $^{nat}\text{Nd}$ .

До очистки в США образец  $^{150}\text{Nd}$  содержал  $3 \cdot 10^{-8}$  г/г  $^{238}\text{U}$  и  $1,7 \cdot 10^{-7}$  г/г  $^{232}\text{Th}$ . Если считать, что степень очистки по  $^{232}\text{Th}$  не хуже очистки по  $^{238}\text{U}$ , то источник  $^{150}\text{Nd}$  содержит примесь  $^{232}\text{Th}$  менее  $0,3 \cdot 10^{-8}$  г/г, что могло бы дать не более двух фоновых событий в ТРС за 700 ч измерений. Таким образом, избыток двухэлектронных событий, наблюдаемый на образце  $^{150}\text{Nd}$ , можно отнести к  $2\beta 2\nu$ -распаду  $^{150}\text{Nd}$ .

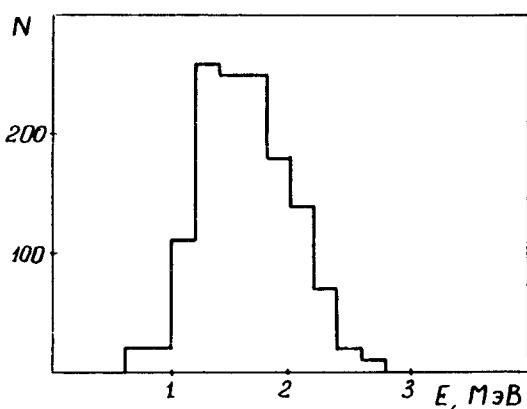


Рис.3. Распределение по сумме кинетических энергий двух электронов для событий  $2\beta 2\nu$ -распада  $^{150}\text{Nd}$ , сгенерированных методом Монте-Карло

Эффективность ТРС к регистрации  $2\beta 2\nu$ -распада Nd, рассчитанная методом Монте-Карло, составляет 2,8%. На рис.3 приведено распределение по сумме кинетических энергий двух электронов для событий, сгенерированных методом Монте-Карло и прошедших программу обработки. Ограничения на энергию каждого из электронов от 0,25 и до 1,80 МэВ.

Так как обогащенный  $^{150}\text{Nd}$  источник содержит 40,3 г изотопа, а источник  $^{nat}\text{Nd}$  – 2,5 г изотопа  $^{150}\text{Nd}$ , одно событие на рис.2 могло бы быть вызвано  $2\beta 2\nu$ -распадом  $^{150}\text{Nd}$ , содержащегося в  $^{nat}\text{Nd}$ . После вычитания фона эффект составляет 12 событий с суммарной энергией от 0,8 до 2,4 МэВ, что соответствует

$$T_{1/2} = (1,7_{-0,5}^{+1,0}) \cdot 10^{19} \text{ лет.}$$

Систематическая ошибка составляет 20%. Здесь учтены неопределенности в толщине источника, в эффективности визуального отбора событий, в величине энергетического порога, связанного с разрешением по энергии.

Планируется продолжение экспозиции с  $^{150}\text{Nd}$  и дополнительные калиброчечные измерения со специально приготовленными образцами  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  с известным содержанием  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность М.В.Данилову за неизменный интерес к работе и поддержку, И.В.Кирпичникову за полезные обсуждения и помочь в организации сотрудничества. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (92-02-3965).

- 
1. M.K.Moe, preprint UCI-NEUTRINO 93-1, febr. 23, (1993).
  2. A.Staudt, T.T.S.Kuo, and H.V.Klapdor-Kleingrothous, Phys. Rev. C **46**, 871 (1992).
  3. A.A.Vasenko, I.V.Kirpichikov, V.A.Kuznetsov et al., Mod. Phys. Lett. A **5**, 1299 (1990); F.T.Avignone, R.L.Brodzinski, C.K.Guerard et al., Phys. Lett. **256**, 559 (1991); A.Piepke in Proceedings of the XIII-th Moriond Workshop, Perspectives in Neutrinos, Atomic Physics and Gravitation, Villars-sur-Ollon, Switzerland, Jan. 30-Febr. 7, 1993, to be published.
  4. S.R.Elliott, A.A.Hahn, M.K.Moe et al., Phys. Rev. C **46**, 1535 (1992).
  5. H.Ejiri, K.Fushimi, T.Kamada et al., Phys. Lett. B **258**, 17 (1991); S.R.Elliott, A.A.Hahn, M.K.Moe et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **17**, S145 (1991); С.И.Васильев, А.А.Клименко, С.Б.Осетров и др., Письма в ЖЭТФ **51**, 550 (1990).
  6. A.A.Klimenko, S.B.Osetrov, A.A.Pomanskii et al., Nucl. Instrum. Meth. B **17**, 445 (1986).
  7. S.R.Elliott, A.A.Hahn, M.K.Moe et al., in Proceedings of the XV International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NEUTRINO'92), Granada, Andalucia, Spain, 7-12 June, 1992, ed. A.Morales, Nucl. Phys. B, Proceedings Supplements, 62.
  8. S.I.Vasil'ev, A.A.Klimenko, A.A.Pomanskii et al., in Proceedings of III International Symposium on Weak and Electromagnetic Interaction of Nuclei (WEIN'92), Dubna, 16-22 June, 1992, in press.
  9. V.A.Artemiev, E.V.Brahman, M.A.Ivanovskii et al., Phys. Lett. B **280**, 159 (1992).
  10. V.A.Artemiev, E.V.Brahman, M.A.Ivanovskii et al., Nucl. Instrum. Meth. A **303**, 309 (1991).
  11. В.А.Артемьев, Э.В.Брахман, О.Я.Зельдович и др., ПГЭ **2**, 89 (1991).