

О ВОЗМОЖНОСТИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО С ПОМОЩЬЮ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ CdWO_4

А. Ш. Георгадзе, В. В. Кобычев, О. А. Понкратенко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Исследована возможность использования большого количества сцинтилляторов CdWO_4 для регистрации солнечных нейтрино низких энергий с помощью реакции захвата нейтрино на ядре ^{116}Cd . Концепция детектора основана на размещении кристаллов CdWO_4 в жидком сцинтилляторе внутри сферы радиусом 18 м, на которой расположены 9500 фотоэлектронных умножителей. Такая конструкция детектора позволяет восстановить точку реакции внутри кристалла CdWO_4 с точностью 1 мм для электронов с энергией 1 МэВ. Благодаря этому фон случайных совпадений может быть снижен до скорости ~ 300 событий/год, которая близка к ожидаемому сигналу от нейтрино – 260 ± 65 событий/год в 30 т CdWO_4 с учетом ожидаемой эффективности детектирования.

Введение

На протяжении последних десятилетий в хлор-аргоновом эксперименте [1], а затем и в других экспериментах - GALLEX/GNO [2, 3], SAGE [4], SuperKamioKande [5], SNO [6] – измеренные потоки солнечных нейтрино оказались примерно в два-три раза ниже значений, предсказываемых стандартными солнечными моделями (ССМ) [7, 8]. В настоящее время принято считать, что полученные экспериментальные данные можно объяснить осцилляциями нейтрино. Опыты по измерению потока атмосферных нейтрино [9, 10], эксперименты с нейтрино от ускорителей и реакторов (K2K [11], KamLAND [12]) также могут быть интерпретированы на основе гипотезы нейтринных осцилляций. Последние данные SNO [13, 14] с высокой достоверностью указывают на наличие в потоке солнечных нейтрино примеси компоненты неэлектронных нейтрино. Однако черенковские детекторы SNO и SuperKamioKande регистрируют солнечные нейтрино только высоких энергий ($E_\nu \geq 5,5$ МэВ), которые составляют малую часть ($\approx 10^{-4}$) от общего потока солнечных нейтрино. В то же время $\approx 98\%$ нейтринного потока от Солнца составляют нейтрино с энергией менее 1 МэВ: pp - и ^7Be -нейтрино. В работе [15] показано, что для последовательного описания экспериментальных данных необходимо принять, что в области энергий $0 \div 1$ МэВ нейтрино подвержены вакуумным осцилляциям, а при больших энергиях нейтринные осцилляции вызваны эффектом Михеева - Смирнова - Вольфенштейна. Поэтому важной задачей является прямое измерение потока и спектра нейтрино низких энергий как для подтверждения феномена нейтринных осцилляций при низких энергиях, так и для определения параметров этих осцилляций.

В последнее время появилось несколько проектов, таких как BOREXINO [16], LENS [17],

MOON [18], XMASS [19], COBRA [20], в которых предполагается измерение спектра низкоэнергетических солнечных нейтрино, однако только детектор BOREXINO находится в стадии завершения постройки.

Для других проектов пока не показано, что они смогут функционировать с заявленными параметрами.

В данной работе рассматривается возможность регистрации солнечных нейтрино с помощью реакции захвата $\nu_e + (A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^- \rightarrow (A, Z + 2) + e^- + \bar{\nu}$, которая идет на изотопах кадмия, входящих в состав кристаллических сцинтилляторов CdWO_4 . В Институте ядерных исследований НАН Украины проводятся исследования с использованием низкофоновых детекторов на основе сцинтилляторов CdWO_4 для поиска процессов двойного бета-распада. Многолетние эксперименты показали, что данные сцинтилляторы обладают достаточно низким уровнем радиоактивных загрязненностей, что открывает широкие перспективы для применения их в низкофоновых экспериментах. Исследования проводились как с использованием сцинтилляторов с натуральным кадмием CdWO_4 , так и с кристаллами $^{116}\text{CdWO}_4$, в которых применялся ^{116}Cd , обогащенный до 83 % [21]. Развитием этих работ явилась разработка эксперимента САМЕО [22], предназначенного для поиска безнейтринного двойного бета-распада ^{116}Cd с чувствительностью $T_{1/2} \geq 10^{25}$ лет. В связи с этим представляется целесообразным оценить возможность получения информации и о других процессах, доступных для изучения в данном эксперименте, а именно о возможности исследования реакций захвата солнечных нейтрино низких энергий. В первом параграфе работы произведены расчеты сечений и скорости реакций захвата нейтрино на ядрах, входящих в состав сцинтилляторов CdWO_4 . Во втором параграфе

рассмотрена концепция детектора с кристаллами CdWO₄. В третьем произведена оценка ожидаемого количества событий захвата нейтрино с учетом эффективности детектора и фоновых характеристик детектора.

1. Реакции захвата солнечных нейтрино на изотопах кадмия

Сечение захвата нейтрино рассчитывалось по формуле [23]

$$\sigma = \frac{2\pi \ln 2 \hbar}{m^5 c^7} p E_e F(Z, A, E_e) [B_F^- + B_{GT}^-], \quad (1)$$

где $F(Z, A, E_e)$ – функция Ферми; p – импульс электрона; E_e – энергия электрона; m – масса электрона; c – скорость света; $[B_F^- + B_{GT}^-]$ – сумма приведенных сил переходов Ферми и Гамова - Теллера. Энергия электрона, вылетающего при захвате нейтрино, определяется соотношением $E_e = E_\nu - (E_f - E_i)$, где E_ν – энергия нейтрино, E_i и E_f – энергии начального и конечного ядерных состояний. Ядерные матричные элементы для захвата нейтрино B_{GT}^- связаны со значением B_{GT}^+ , получаемым из эксперимента, соотношении

$$[B_F^- + B_{GT}^-] = \frac{(2J_f + 1)}{(2J_i + 1)} [B_F^+ + B_{GT}^+],$$

где i и f – начальное и конечное ядерные состояния.

Скорость захвата нейтрино R_k для k -й компоненты спектра солнечных нейтрино рассчитывается по формуле $R_k = \int \sigma(E_\nu) \rho_k(E_\nu) dE_\nu$, где $\sigma(E_\nu)$ – сечение захвата нейтрино, а ρ_k – спектр нейтрино определенного типа [24]. Суммарная скорость захвата нейтрино равна $R = \sum_k R_k$.

Скорость захвата нейтрино измеряется в SNU (1 SNU = 1 захват нейтрино в секунду на 10³⁶ ядер мишени).

В состав сцинтилляторов CdWO₄ и ¹¹⁶CdWO₄, использованных в экспериментах [25], входят несколько стабильных изотопов кадмия [26] (табл. 1). Рассчитанные скорости захвата нейтрино для всех стабильных изотопов кадмия приведены в табл. 2. Для расчета сечения захвата нейтрино на ядре ¹¹⁶Cd экспериментальное значение $B_{GT}^- = 0,75 \pm 0,21$ взято из [27]. Реакции захвата нейтрино могут также идти на ядрах ¹⁷O, ¹⁸O, ¹⁸⁰W, ¹⁸²W, ¹⁸³W, ¹⁸⁴W, ¹⁸⁶W, входящих в состав сцинтилляторов CdWO₄, однако рассчитанная скорость захвата нейтрино на этих ядрах мала (менее 1 SNU).

Таблица 1. Данные по распространенности стабильных изотопов кадмия в природе, в кристаллах CdWO₄ и кристаллах ¹¹⁶CdWO₄ [26]

Изотоп	¹⁰⁶ Cd	¹⁰⁸ Cd	¹¹⁰ Cd	¹¹¹ Cd	¹¹² Cd	¹¹³ Cd	¹¹⁴ Cd	¹¹⁶ Cd
Природная изотопная распространенность	1.25(2)	0.89(1)	12.49(6)	12.80(4)	24.13(7)	12.22(4)	28.73(14)	7.49(6)
CdWO ₄	1.3(1)	0.9(1)	12.4(10)	12.7(10)	24.0(10)	11.7(10)	29.6(10)	7.4(10)
¹¹⁶ CdWO ₄	0.155(5)	0.110(5)	1.85(15)	2.00(15)	4.15(20)	2.15(20)	6.45(20)	83.2(10)

Таблица 2. Скорость захвата нейтрино R , рассчитанная на основе стандартной солнечной модели [7] для изотопов кадмия (в единицах SNU).

Также указан порог реакции захвата нейтрино для каждого изотопа [24]

Изотоп	¹⁰⁶ Cd	¹⁰⁸ Cd	¹¹⁰ Cd	¹¹¹ Cd	¹¹² Cd	¹¹³ Cd	¹¹⁴ Cd	¹¹⁶ Cd
Порог реакции, кэВ	7416	5859	4221	2052	2586	709	1452	470
R	0,05	1,1	1,0	1,3	7,3	40,3	10,5	292

Как видно из табл. 2, наибольшее сечение и скорость захвата нейтрино имеет ядро ¹¹⁶Cd, что связано с низким порогом захвата нейтрино $E_{пор} = 470$ кэВ. Такой порог позволяет регистрировать низкоэнергетическую часть спектра солнечных нейтрино, в частности важную составляющую потока солнечных нейтрино, связанную с распадом ⁷Be. В табл. 3 представлены результаты расчета скорости захвата на ядре ¹¹⁶Cd для основных составляющих потока солнечных нейтрино.

Таблица 3. Скорости захвата нейтрино, рассчитанные на основе стандартной солнечной модели [7] на ядре ¹¹⁶Cd (в SNU)

Источник	pp	⁷ Be	⁸ B	¹³ N	¹⁵ O	Сумма
R	0	226	13	24	29	292

На рис. 1. изображена схема захвата нейтрино на ядре ¹¹⁶Cd. Реакция захвата нейтрино сопрово-

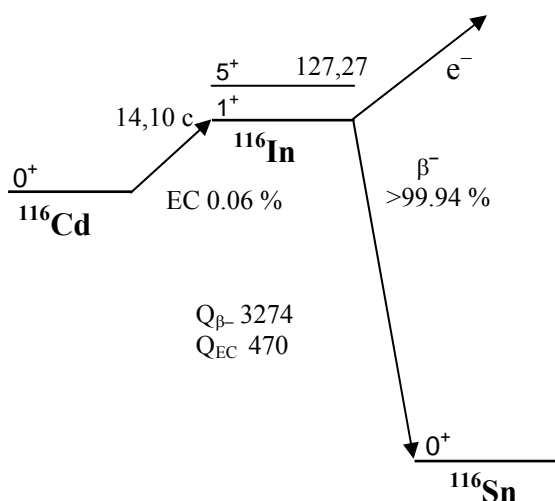


Рис. 1. Схема захвата нейтрино на ядре ^{116}Cd [24].

ждается испусканием электрона. Образовавшееся ядро ^{116}In распадается с периодом полураспада 14,10 с посредством бета-распада с граничной энергией электрона 3,27 МэВ. Таким образом, задержанное совпадение электрона, вылетающего из ядра при захвате нейтрино, и электрона от бета-распада промежуточного состояния ^{116}In образуют специфический регистрационный сигнал реакции захвата нейтрино, который позволяет выделить такое событие из фоновых процессов.

2. Концепция детектора со сцинтилляционными кристаллами CdWO_4 для регистрации реакций захвата нейтрино

Концепция предлагаемого детектора базируется на идее проекта CAMEO [22], который предусматривает размещение кристаллических сцинтилляторов CdWO_4 в резервуаре с жидкостью (вода либо жидкий сцинтиллятор), которые являются одновременно и световодом, и защитой от внешнего фона. Конструкция детектора (рис. 2) представляет собой резервуар, заполненный водой, в центральной части которого на сфере диаметром 12 м размещаются ~10000 кристаллов CdWO_4 массой ~3 кг каждый. Сцинтилляционный свет регистрируется с помощью 9500 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), которые находятся на сферической конструкции диаметром 18 м, окружающей кристаллы и образующей 4π геометрию.

Для оценки ожидаемого энергетического разрешения детектора проводилось моделирование распространения света в детекторе с помощью программы GEANT4. Следующие параметры установки использованы при моделировании: световыход кристаллов CdWO_4 - 30000 фотоэлектронов на 1 МэВ [28], длина поглощения

света в кристалле ~50 см, прозрачность воды ~100 м, квантовая эффективность ФЭУ - 15 %, оптическое покрытие поверхности сферы ФЭУ - 55 % [29]. В этом случае число фотоэлектронов составит ~2400 на 1 МэВ, что соответствует энергетическому разрешению $\approx 5\%$.

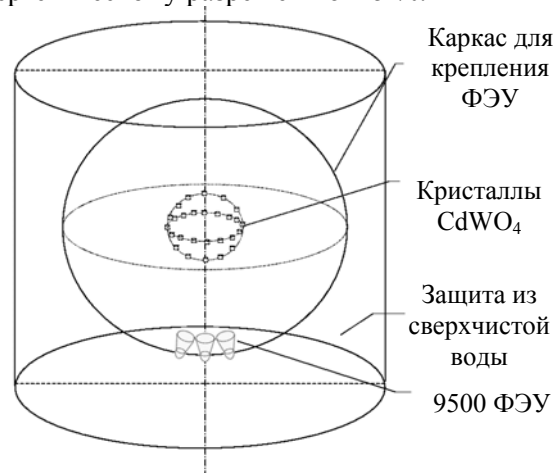


Рис. 2. Схематичное представление конструкции детектора.

Вследствие эффекта полного внутреннего отражения сцинтилляционного света, излучаемого в кристалле CdWO_4 , возникает сильная пространственная анизотропия в распределении сцинтилляционного света, выходящего из кристалла и детектируемого ФЭУ. Такая зависимость позволяет определять точку в кристалле, в которой произошла сцинтилляционная вспышка. Для определения положения такого события была разработана следующая процедура восстановления координаты ядерного события.

Моделировалось распределение фотоэлектронов, регистрируемых ФЭУ для точечных событий с энергией 1 МэВ в зависимости от координаты события. Распределение фотоэлектронов по ФЭУ моделировалось для набора точек в объеме кристалла с шагом по радиусу и высоте кристалла 0,25 см и с шагом по углу 5° . Реконструкция координаты и энергии произвольного точечного события проводилась максимизацией критерия максимального правдоподобия при помощи стандартной программы подгонки MINUIT. При этом пространственное разрешение имеет следующую зависимость от энергии $\delta r \sim E^{3/2}$.

На рис. 3. показаны результаты моделирования распределения фотоэлектронов от ядерных событий в кристалле CdWO_4 с размерами $\varnothing 7 \times 10$ см для трех точек в кристалле с декартовыми координатами (в мм) $(x = 0, y = 20, z = 0)$, $(x = 0, y = 20, z = 5)$ и $(x = 0, y = 20, z = 10)$. На рис. 3, а изображено двумерное представление сферической гистограммы, на котором градиентам тонов соответствует различное количество

фотоэлектронов. На рис. 3, б показана сферическая гистограмма для того же распределения числа фотоэлектронов. Чем больше фотоэлектронов в определенном секторе детектора, тем выше гистограмма. Показаны результаты моделирования для распределения 100 фотоэлектро-

нов, что соответствует энергии ~ 50 кэВ. Как видно из представленных результатов, модельное распределение интенсивности светового потока анизотропное и существенно отличается для трех точек, удаленных друг от друга на 5 мм.

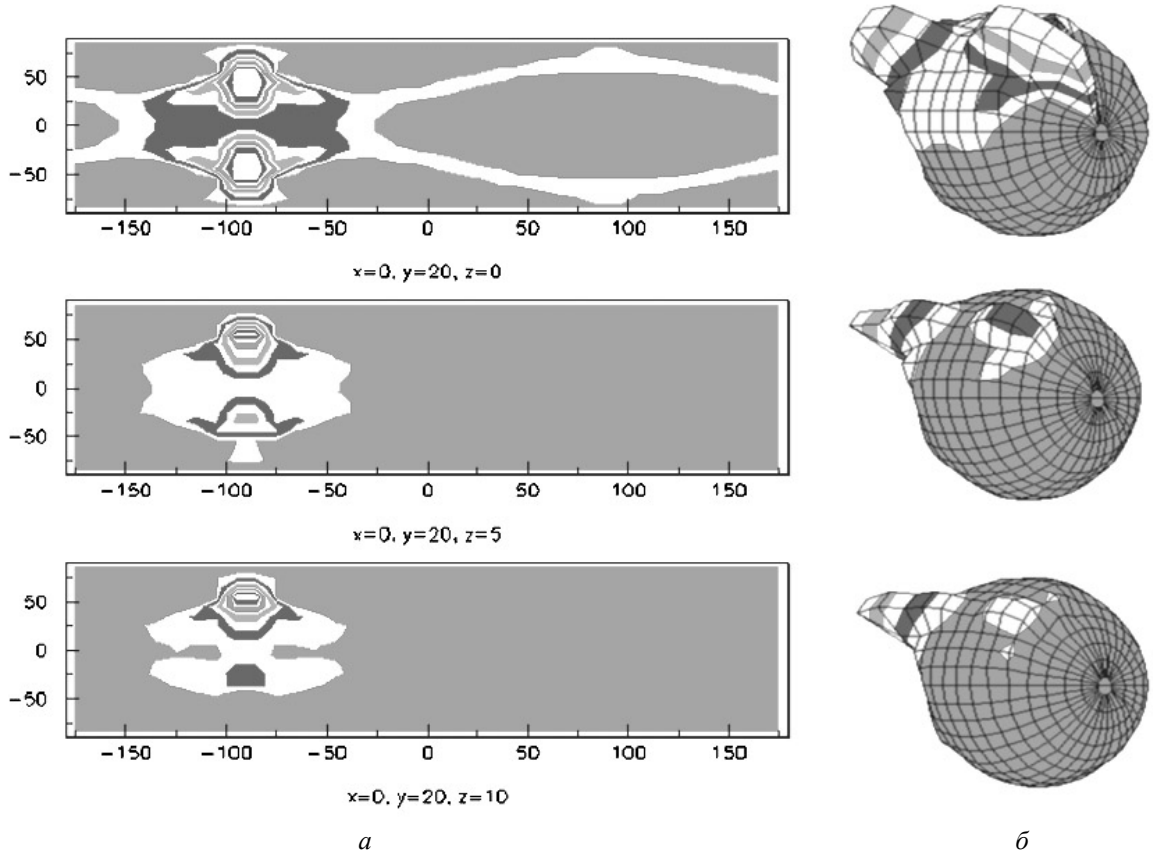


Рис. 3. Результаты моделирования распределения количества фотоэлектронов от ядерных событий в кристалле CdWO_4 с размерами $\varnothing 7 \times 10$ см для трех точек в кристалле с декартовыми координатами (в мм) $(x = 0, y = 20, z = 0)$, $(x = 0, y = 20, z = 5)$ и $(x = 0, y = 20, z = 10)$.

3. Число событий захвата нейтрино и фоновые условия

Нейтрино от распада ${}^7\text{Be}$ дают наибольший вклад в суммарную скорость захвата нейтрино на ядре ${}^{116}\text{Cd}$ – 226 SNU, или 77 % (см. табл. 3). В 30 т кристаллов ${}^{116}\text{CdWO}_4$ содержится ~ 10 т ${}^{116}\text{Cd}$. Полное количество реакций захвата нейтрино в детекторе без учета нейтринных осцилляций составит 372 события в год, связанных с захватом бериллиевых нейтрино.

Для оценки ожидаемого фона детектора были использованы данные измерений фона с кристаллами CdWO_4 в установке [26], выполненные в Солотвинской подземной лаборатории. Спектр фона, измеренный в течение 4629 ч с четырьмя кристаллами ${}^{116}\text{CdWO}_4$ (общая масса 339 г), представлен на рис. 4. Данные, измеренные с одним кристаллом ${}^{116}\text{CdWO}_4$ (массой 121 г, время измерения 19986 ч, нормированный к массе

339 г), изображены светлой гистограммой. С помощью программы DECAУ4 [30] промоделирован вклад следующих возможных компонент спектра: *a* – $2\nu\beta\beta$ -распад ${}^{116}\text{Cd}$ ($T_{1/2}(2\nu) = 2,6(1) \times 10^{19}$ лет); *б* – ${}^{40}\text{K}$ в кристаллах ${}^{116}\text{CdWO}_4$ (содержание $0,8 \pm 0,2$ мБк/кг); *в* – ${}^{40}\text{K}$ в защитных кристаллах CdWO_4 ($2,1 \pm 0,3$ мБк/кг); *г* – ${}^{226}\text{Ra}$ и ${}^{232}\text{Th}$ в ФЭУ.

Основная активность сцинтилляторов CdWO_4 связана с бета-распадом ${}^{113}\text{Cd}$ ($T_{1/2} = (7,7 \pm 0,3) \cdot 10^{15}$ лет [31]) с граничной энергией 316 кэВ. Поскольку основной вклад в скорость захвата дают ${}^7\text{Be}$ -нейтрино, которые имеют моноэнергетический спектр, то признаком нейтринного сигнала в этом случае будет совпадение электрона с энергией 392 кэВ (захват нейтрино) и электрона от бета-распада ${}^{116}\text{In}$ с максимальной энергией 3274 кэВ (см. схему на рис. 1). Случайные совпадения дают основной вклад в фоновые

отсчеты. Число случайных совпадений определяется как $N = N_1 \cdot N_2 \cdot \Delta t \cdot \delta V$. Для кристалла скорость счета первого фонового события в области пика 400 кэВ (в интервале 3σ) составляет $N_1 = 0,03$ отсч./с, второго события (в интервале 400 ÷ 3274 кэВ) – $N_2 = 0,414$ отсч./с, δV является отношением объемов ячейки, в которой, благодаря пространственному разреше-

нию, локализуется событие в кристалле к полному объему кристалла. Таким образом, для вероятности случайных совпадений в детекторе получаем значение ~ 300 фоновых отсчетов за год. При этом с учетом эффективности, которая равна $\sim 70\%$, ожидаемая скорость захвата бериллиевых нейтрино в детекторе составит примерно $260 \pm \pm 65$ событий в год.

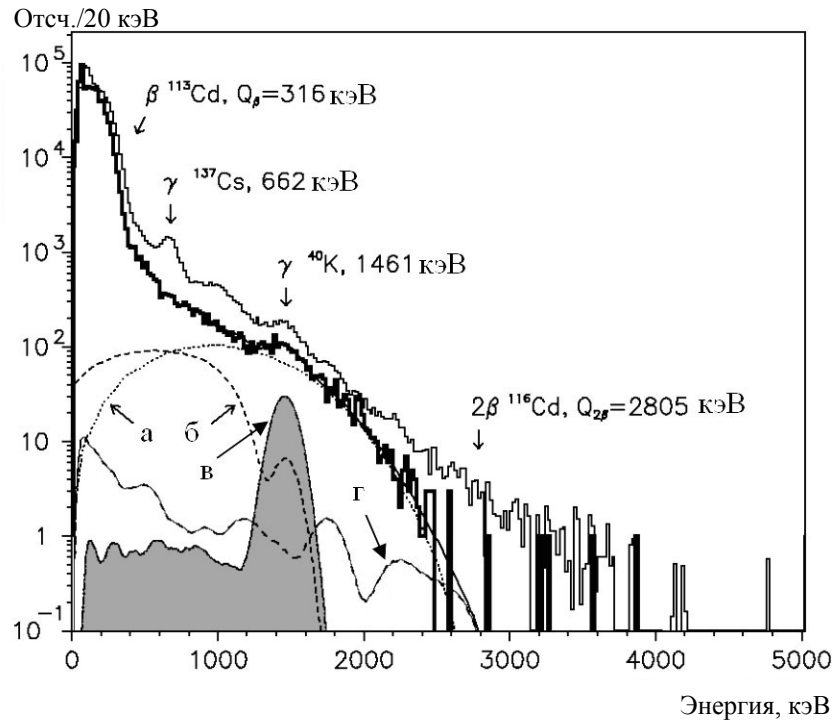


Рис. 4. Спектр фона четырех обогащенных кристаллов $^{116}\text{CdWO}_4$, измеренный в течение 4629 ч [25].

Заключение

В данной работе предложено использовать сцинтилляторы CdWO_4 для регистрации солнечных нейтрино низких энергий. В предложенной конструкции детектора размещение кристаллов CdWO_4 в жидкости приводит к анизотропии в распространении сцинтилляционного излучения. Разработанная методика восстановления координаты сцинтилляционного события позволяет с высокой точностью локализовать данное событие в кристалле. Оценка числа случайных совпадений, имитирующих нейтринный сигнал, основанная на данных измерений фоновых характеристик кристаллов CdWO_4 , показывает, что возможность локализации ядерных событий внутри кристалла позволяет значительно уменьшить число фоновых событий и достичь соотношения сигнал/фон, близкого к единице. Таким образом, показана принципиальная возможность детектирования солнечных нейтрино низких энергий с помощью сцинтилляторов CdWO_4 .

Использованные для оценок фона кристаллы CdWO_4 были выращены без специальных мер по предварительной очистке исходного сырья от радиоактивных примесей. К примеру, в эксперименте CANDLESS [32] благодаря специальной подготовке удалось снизить загрязненность кристаллов CaF_2 , используемых в детекторе, по урану в 30 раз, по торью в три раза. В кристаллах CdWO_4 наиболее опасным источником фона для регистрации солнечных нейтрино является примесь ^{40}K . Уменьшение его концентрации в кристаллах на порядок позволит уменьшить число фоновых событий примерно в два раза. Сцинтилляционные свойства кристаллов CdWO_4 хорошо изучены, разработана технология по выращиванию качественных прозрачных кристаллов большого объема массой 3 ÷ 10 кг, с хорошими спектрометрическими свойствами. Поэтому создание детектора с большим количеством кристаллов представляется принципиально возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Davis R.* Solar Neutrinos. II. Experimental // *Phys. Rev. Lett.* - 1964. - Vol. 12. - P. 303 - 305.
2. *Hampel W., Handt J., Heusser G. et al.* GALLEX Collaboration // *Phys. Lett.* - 1999. - Vol. B447. - P. 127 - 133.
3. *Anselmann P., Hampel W., Heusser G. et al.* Update of GALLEX solar neutrino results and implications // *Nucl. Phys. (Proc. Suppl.)*. - 1995 - Vol. B38. - P. 68 - 76.
4. *Gavrin V.* SAGE Collaboration. Solar neutrino results from SAGE // *Nucl. Phys. (Proc. Suppl.)*. - 2001. - Vol. B91. - P. 36 - 43.
5. *Fukuda Y., Hayakawa T., Ichihara E. et al.* Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos // *Phys. Rev. Lett.* - 1998. - Vol. 81. - P. 1562 - 1567; *Fukuda Y., Hayakawa T., Ichihara E., et al.* Constraints on Neutrino Oscillation Parameters from the Measurement of Day-Night Solar Neutrino Fluxes at Super-Kamiokande // *Phys. Rev. Lett.* - 1999. - Vol. 82. - P. 1810 - 1814; *Fukuda Y., Hayakawa T., Ichihara E. et al.* Measurement of the Solar Neutrino Energy Spectrum Using Neutrino-Electron Scattering // *Phys. Rev. Lett.* - 1999. - Vol. 82. - P. 2430-2434.
6. *Ahmad Q. R., Allen R. C., Andersen T. C. et al.* Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral-Current Interactions in the Sudbury Neutrino Observatory // *Phys. Rev. Lett.* - 2002. - Vol. 89. - P. 011301 - 011307; *Ahmad Q. R., Allen R. C., Andersen T. C. et al.* Measurement of the Rate of $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$ Interactions Produced by ^8B Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory // *Phys. Rev. Lett.* - 2001. - Vol. 87. - P. 071301 - 71307.
7. *Bahcall J.N., Pinsonneault M.H., Basu S.* Models: Current Epoch and Time Dependences, Neutrinos, and Helioseismological Properties // *Astrophysical J.* - 2001. - Vol. 555. - P. 990 - 1012; *Bahcall J.N., Pinsonneault M.H.* Solar models with helium and heavy-element diffusion // *Rev. Mod. Phys.* - 1995. - Vol. 67. - P. 781 - 808; *Bahcall J.N., Ulrich R.C.* Solar models, neutrino experiments, and helioseismology // *Rev. Mod. Phys.* - 1988. - Vol. 60. - P. 297 - 372.
8. *Turck-Chieze S., Däppen W., Fossat E., Provost J. et al.* The solar interior // *Phys. Rep.* - 1993. - Vol. 230. - P. 57 - 235.
9. *Takaaki K.* Super-Kamiokande and Kamiokande collaborations. Atmospheric neutrino results from Super-Kamiokande and Kamiokande - Evidence for ν_μ oscillations // *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* - 1999. - Vol. 77. - P. 123 - 132; *Fukuda Y., Hayakawa T., Ichihara E. et al.* Measurement of the Flux and Zenith-Angle Distribution of Upward Throughgoing Muons by Super-Kamiokande // *Phys. Rev. Lett.* - 1999. - Vol. 82. - P. 2644 - 2648.
10. *Ambrosio M., Antolini R., Bakari D. et al.* Atmospheric neutrino oscillations from upward throughgoing muon multiple scattering in MACRO // *Phys. Lett.* - 2003. - Vol. B566. - P. 35 - 44.
11. *Ahn M.H., Aoki S., Bhang H. et al.* Indications of Neutrino Oscillation in a 250 km Long-baseline Experiment // *Phys. Rev. Lett.* - 2003. - Vol. 90. - P. 041801 - 041806.
12. *Eguchi K., Enomoto S., Furuno K. et al.* First Results from KamLAND: Evidence for Reactor Antineutrino Disappearance // *Phys. Rev. Lett.* - 2003. - Vol. 90. - P. 021802 - 021808.
13. *Ahmed S.N., Anthony A.E., Beier E.W. et al.* Measurement of the Total Active ^8B Solar Neutrino Flux at the Sudbury Neutrino Observatory with Enhanced Neutral Current Sensitivity // *Phys. Rev. Lett.* - 2004. - Vol. 92. - P. 181301 - 181306;
14. *Aharmim B., Ahmed S.N., Anthony A.E. et al.* Electron Energy Spectra, Fluxes, and Day-Night Asymmetries of ^8B Solar Neutrinos from the 391-Day Salt Phase SNO Data Set // *Phys. Rev.* - 2005. - Vol. C72. - P.055502 - 055549.
15. *Bahcall J. N., Pena-Garay C.* Global analyses as a road map to solar neutrino fluxes and oscillation parameters // *J. High Energy Phys.* - 2003. - Vol. 11. - P. 004 - 061.
16. *Alimonti G., Arpesella C., Back H. et al.* Science and technology of Borexino: a real-time detector for low energy solar neutrinos // *Astroparticle Physics* - 2002. - Vol. 16. - P. 205 - 234.
17. *Raghavan R. S.* Inverse β Decay of $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$: A New Possibility for Detecting Solar Neutrinos from the Proton-Proton Reaction // *Phys. Rev. Lett.* - 1976. - Vol. 37. - P. 259 - 262; *Raghavan R. S., Pakvasa S., Brown B. A.* New Tools for Solving the Solar-Neutrino Problem // *Phys. Rev. Lett.* - 1986. - Vol. 57. - P. 1801-1804.
18. *Ejiri H., Engel J., Hazama R. et al.* Spectroscopy of Double-Beta and Inverse-Beta Decays from ^{100}Mo for Neutrinos // *Phys. Rev. Lett.* - 2000. - Vol. 85. - P. 2917 - 2920.
19. *Suzuki Y.* // *Proc. Int. Workshop on Low Energy Solar Neutrinos, LowNu2, 4 - 5 Dec. 2000, Tokyo, Japan / Ed: Y. Suzuki.* - Singapore: World Scientific, 2001.
20. *Zuber K.* Spectroscopy of low energy solar neutrinos using CdTe detectors // *Phys. Lett.* - 2003. - Vol. B571. - P. 148 - 154.
21. *Danevich F.A., Georgadze A.Sh., Kobychhev V.V. et al.* Search for 2β decay of cadmium and tungsten isotopes: Final results of the Solotvina experiment // *Phys. Rev.* - 2003. - Vol. C68. - P. 035501 - 035513.
22. *Bellini G., Caccianiga B., Chen M., et al.* High sensitivity 2β decay study of ^{116}Cd and ^{100}Mo with the BOREXINO counting test facility (CAMEO project) // *Eur. Phys. J.* - 2001. - Vol. C19. - P. 43 - 55.
23. *Гротц К., Кландор-Клайнротхаус Г.В.* Слабое взаимодействие в физике ядра, частиц и астрофизике. - М.: Мир, 1992. - 451 с.
24. *Table of Isotopes / Ed. By V.S. Shirley.* - New York, 1996.
25. *Danevich F. A., Georgadze A. Sh., Kobychhev V. V. et al.* New results of ^{116}Cd double β decay study with

- ¹¹⁶CdWO₄ scintillators // Phys. Rev. C. - 2000. - Vol. 62. - P. 045501 - 045510.
26. Георгадзе А.Ш., Даневич Ф.А., Здесенко Ю.Г. и др. Результаты исследований 2β-распада ¹¹⁶Cd с помощью сцинтилляторов ¹¹⁶CdWO₄ // Ядерная физика - 1995. - Т. 58. - С. 1170 - 1179.
27. Bhattacharya M., Garci'a A., Hindi M. M. et al. Electron capture decay of ¹¹⁶In and nuclear structure of double β decays // Phys. Rev. - 1998. - Vol. C 58. - P. 1247 - 1256.
28. Dorenbos P., de Hass J.T. M., van Eijk C.W.E. Non-proportionality in the scintillation response and the energy resolution obtainable with scintillation crystals // IEEE Trans. Nucl. Sci. - 1995. - Vol. 42, No. 1. - P. 2190 - 2202; Kinloch D.R., Novak W., Raby P., Toepke I. New developments in cadmium tungstate // IEEE Trans. Nucl. Sci., - 1994 - Vol. 41, No. 4. - P. 752 - 754.
29. The SNO Collaboration. The Sudbury Neutrino Observatory // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 2000. - Vol. A449. - P. 172 - 207.
30. Ponkratenko O.A., Tretyak V. I., Zdesenko Yu. G. Event Generator DECAY4 for Simulating Double-Beta Processes and Decays of Radioactive Nuclei // Phys. of Atomic Nuclei. - 2000. - Vol. 63. - P. 1282 - 1287.
31. Георгадзе А.Ш., Даневич Ф.А., Здесенко Ю.Г. и др. Бета-распад ¹¹³Cd // Ядерная физика - 1996. - Т. 59, № 1. - С. 5 - 9.
32. Yoshida S., Kishimoto T., Ogawa I. et al. CANDLES project for double beta decay of ⁴⁸Ca // Nuclear Physics (Proc. Suppl.). - 2005. - Vol. B138. - P. 214 - 216.

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ДЕТЕКТУВАННЯ СОЛЯЧНИХ НЕЙТРИНО ЗА ДОПОМОГОЮ СЦИНТИЛЯТОРІВ CdWO₄

А. Ш. Георгадзе, В. В. Кобычев, О. А. Понкратенко

Досліджено можливість використання великої кількості сцинтиляторів CdWO₄ для реєстрації сонячних нейтрино низьких енергій за допомогою реакції захоплення нейтрино на ядрі ¹¹⁶Cd. Концепція детектора полягає в розміщенні кристалів CdWO₄ в рідкому сцинтиляторі всередині сфери діаметром 18 м, на якій розташовані 9500 фотоелектронних помножувачів. Така конструкція детектора дає змогу реконструювати місце реакції всередині кристала CdWO₄ з точністю 1 мм для електронів з енергією 1 МеВ. Завдяки цьому фон випадкових збігів може бути зменшений до кількості ~300 подій на рік, що є близьким до очікуваного сигналу від нейтрино (260 ± 65 подій на рік в 30 т CdWO₄) з урахуванням очікуваної ефективності детектування.

ON POSSIBILITY TO DETECT SOLAR NEUTRINOS WITH THE HELP OF CdWO₄ SCINTILLATORS

A. Sh. Georgadze, V. V. Kobychchev, O. A. Ponkratenko

The possibility to use large amount of CdWO₄ crystal scintillators to detect solar neutrino of low energies via neutrino capture reactions on ¹¹⁶Cd is investigated. The detector concept is based on placing CdWO₄ crystals in liquid scintillator inside the sphere of 18 m in diameter, on which 9500 photomultipliers are installed. Such design makes possible event to place reconstruction inside CdWO₄ crystal with accuracy 1 mm for 1 MeV electrons. Thus, expected background from random signal coincidences can be reduced to the rate ~300 events per year, which is of the same order magnitude as expected neutrino signal (260 ± 65 events per year in 30 ton of CdWO₄), taking into account neutrino detection efficiency.

Поступила в редакцію 06.02.07,
после доработки – 05.04.07.