

## ВЛИЯНИЕ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ ИЗ ГРУНТА НА УСЛОВИЯ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РЕГИСТРАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО ЭЛЕКТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

А. В. Елпидинский

В предыдущих работах<sup>1,2</sup> были произведены подробные оценки абсолютной величины фона, создаваемого в детекторах солнечных нейтрино потоком нейтронов, образующихся в грунте. В настоящем сообщении для двух детекторов дифференциального типа анализируются требования и ограничения, накладываемые этим фоном на условия проведения экспериментов по регистрации солнечных нейтрино. К числу каналов, образующих фон, относились все прямые и многоступенчатые реакции, генерируемые нейтронами и сопровождающиеся вторичными электронами с суммарной энергией  $\geq 3$  мэв. При этом нами совершенно не рассматривались случайные временные и пространственные совпадения в генерации электронов с  $E_e < 3$  мэв. Последнее будет возможно только после окончательной выработки схем регистрации. Для удобства анализа и сравнения детекторов между собой абсолютная величина фона относилась к величине эффекта, ожидаемого\*) при регистрации солнечных нейтрино<sup>4</sup>. Требования к защите и степени чистоты материалов находились, исходя из условия допустимости при эксперименте отношения (фон/эффект)  $\leq 0,1$ . Для определения зависимости величины фона от энергии облучающих нейтронов были произведены оценки выхода для потоков  $\Phi_n(E_n) = 1 \text{ н/см}^2 \cdot \text{час}$

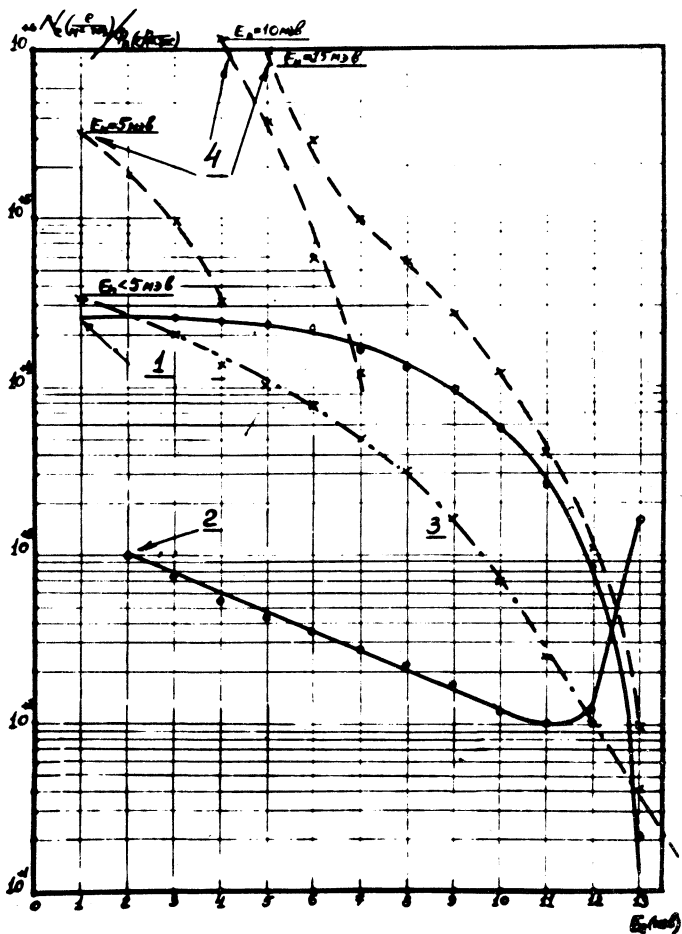
\*) при  $\Phi_n(B) = 1 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$

моноэнергетических нейтронов (в диапазоне  $E_{\text{тепл}} \lesssim E_n \lesssim 15$  мэв).

Литиевый ионизационный детектор был рассмотрен в двух вариантах: в виде чистого лития без учета возможных химических примесей и необходимых защитных и конструктивных материалов (идеализированный вариант) и из металлического лития с защитным покрытием и конструкциями из плексигласа  $C_5H_8O_2$  (реальный вариант).

В диапазоне энергий, к которому принадлежит подавляющая доля нейтронов ( $E_n < 5$  мэв), каналами, определяющими уровень фона для обоих вариантов, являются прямые реакции фотопоглощения медленных и тепловых нейтронов. При этом единственное различие, связанное с применением плексигласа, выражается в том, что для реального варианта интенсивность электронов в области малых энергий ( $E_e < 3$  мэв) на 30% больше, чем для идеализированного варианта детектора. Пренебрегая этим, интегральный спектр электронов фона для обоих случаев представлен единой кривой 3 на рис. 1.

В диапазоне энергий  $E_n > 4$  мэв появляются каналы образования фона, абсолютный выход и форма интегрального спектра которых зависит от энергии первичных нейтронов. Для идеализированного варианта их абсолютный выход не превосходит 1% от ранее рассмотренной основной части фона. Для реального детектора образованный этими каналами интегральный спектр фоновых электронов представлен пунктирными кривыми 4, соответственно для трех моноэнергетических групп нейтронов с  $E_n = 5, 10$  и  $15$  мэв. Однако доля нейтронов подобных энергий в суммарном потоке как из грунта, так и из защиты  $\lesssim 10^{-3}$ . Поэтому и для реального детектора вкладом этих каналов можно пренебречь. Таким образом, как для идеализированного, так и для реального детектора подавляющая по интенсивности часть фона не зависит от формы спектра облучающих детектор нейтронов. Это определяет требование к за-



Р и с. 1. Интегральные спектры электронов в детекторе из лития и плексигласа, 1 - ожидаемый эффект от солнечных нейтрино ( $\times 10^5$ ); 2 -  $\frac{\text{фон } (E_n < 5 \text{ мэВ})}{\text{эффект}} \times 10^{-2}$ ; 3 - фон при  $E_n < 5 \text{ мэВ}$ ; 4 - фон при  $E_n = 5; 10 \text{ и } 15 \text{ мэВ}$ ;

шите - замедление быстрых и поглощение медленных нейтронов, уменьшающее суммарный поток в  $5 \cdot 10^5 + 10^5$  раз (в зависимости от порога запираания - см. кривую 2 на том же рисунке). От материала защиты требуется пониженное содержание естественных радиоактивных примесей ( $\leq 10^{-11}$  г U/г и  $\leq 10^{-17}$  г Ra/г).

Анализ вкладов каналов образования фона в реальных детекторах приводит к простому аналитическому выражению для оценки допустимых весовых содержаний химических примесей в материале детектора, как потенциальных источников фона

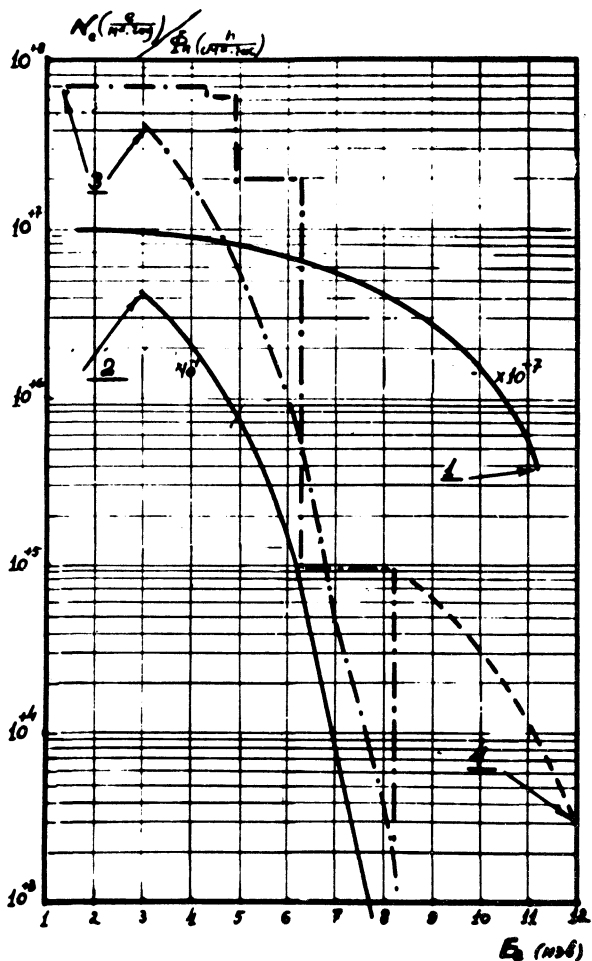
$$\varepsilon \leq 2 \cdot 10^{-6} Lk$$

где L - размеры детектора в метрах, k - кратность ослабления нейтронного потока защитой.

Допустимое содержание в материале детектора делящихся элементов определяется спонтанным делением (вынужденное в  $10^4$  раз менее интенсивно) на уровне  $\leq 10^{-11}$  г U/г и  $\leq 10^{-9}$  г Th/г.

Следовательно, применение в качестве конструктивного материала водородосодержащих соединений не увеличивает требований и к степени химической и радиологической чистоты применяемых материалов.

Жидкий сцинтиллятор с растворителем типа уайт-спирит<sup>3</sup>, на 100% обогащенный дейтерием. В этом случае все каналы образования фона также можно разделить на две группы. К первой относятся прямые реакции радиационного захвата медленных и тепловых нейтронов дейтерием и изотопами углерода. Выход этой группы каналов не зависит от энергии падающих нейтронов. Все прочие каналы, включая образованные протонами отдачи (в случае частично дейтерированного растворителя) дают добавку, не превышающую 0,01% от интенсивности основной группы. Интегральный спектр электронов этой основной части фона представлен штрих-пунктирными кривыми 3 на рис. 2. Ломанная гистограмма характерна для детектора в виде одного большого бака, а гладкая кривая - для набора маленьких



Р и с. 2. Интегральные спектры электронов в син-  
 тилляционном детекторе с растворителем  $(D_2O)_n$   
 1 - ожидаемый эффект от солнечных нейтрино ( $\times 10^7$ );  
 2 -  $\frac{\text{фон } (E_n < 14 \text{ мэВ})}{\text{эффект}} \times 10^{-1}$ ;    3 - фон ( $E_n < 14 \text{ мэВ}$ );  
 4 - фон ( $E_n \sim 15 \text{ мэВ}$ )

( $L \leq I_m$ ). Реальный случай заключен между этими крайностями. Вторую группу фоновых каналов, выход которых зависит от энергии облучающих нейтронов, объединяет также то, что все они приводят к наведению бета-активности и характеризуются высокими энергетическими порогами. Если всему потоку из грунта приписать максимальную возможную в земных условиях энергию нейтронов ( $E_n \approx 15$  мэв), то выход этих каналов описывается пунктирной кривой 4 на рис. 2. Однако в реальном спектре доля нейтронов с такой энергией из грунта меньше  $10^{-4}$ . Поэтому можно считать, что при выборе защиты достаточно предъявлять требования к кратности ослабления суммарного потока нейтронов в зависимости от установленного порога запираания. Однако при этом очень высоки требования к кратности ослабления: при  $E_e^{пор} \approx 3$  мэв -  $10^9$ , а при  $E_e^{пор} \approx 8$  мэв -  $10^5$ . Удобнее работать при запирааниях  $E_e^{пор} > 8$  мэв, когда фон образуется второй группой каналов. При этом ожидаемый нейтринный эффект падает всего в 2 + 3 раза (см. кривую 1), и достаточно защита, ослабляющая внешний поток в  $10^2$  раз. Кроме того при запираании  $E_e^{пор} \approx 3$  мэв необходимо, чтобы в защите содержалось  $\leq 10^{-14}$  г U/г и  $\sim 10^{-20}$  г Ra/г, в то время как при  $E_e^{пор} > 8$  мэв достаточно, чтобы в защите содержалось  $\leq 10^{-8}$  г U/г и  $\leq 10^{-14}$  г Ra/г.

В случае применения частично дейтерированного растворителя электронный фон изменяется по сравнению с рассмотренным за счет нескольких факторов, и кроме того уменьшается нейтринный эффект. Все эти зависимости описываются единой формулой

$$\eta = \frac{1}{(1 - 10^{-2}\alpha)(1 + 1,5\alpha)};$$

где  $\eta$  - отношение параметра (фон/эффект) для смеси  $D_2C$  и  $H_2C$  к значению его в случае чистого растворителя  $D_2C$ ;  $\alpha$  - содержание легкой фракции в вес.

% от дейтериевой. При разбавлении полностью дейтерированного соединения отношение (фон/эффект) уменьшается, достигая при  $\alpha = 10\%$  значения 0,07, а при  $\alpha = 50\%$  - значения 0,03. Получена приближенная оценка допустимых концентраций химических примесей  $\leq 10^{-8}$  г/г. Ограничения на содержание в материале детектора делящихся элементов величинами  $\leq 10^{-12}$  г U/г и  $\leq 10^{-10}$  г Th/г определяются спонтанным делением. Вынужденное деление на два порядка менее интенсивно.

Сравнение чувствительности обоих детекторов к облучению нейтронами из грунта приводит к окончательному выводу, что сцинтилляционный детектор с дейтерированным органическим соединением в качестве рабочего материала и растворителя более удобен. Он позволяет ценой уменьшения в 2 + 3 раза ожидаемого эффекта снизить на несколько порядков требования к защите и к степени чистоты применяемых материалов.

Автор искренне благодарит Г. Т. Зацепина, проявившего настойчивый интерес к работе.

Поступила в редакцию  
22 июня 1970 г.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. В. Елпидинский. Препринт ФИАН № 134, 1969 г.
2. А. В. Елпидинский. Препринт ФИАН № 8, 1968 г.
3. В. Л. Дадыкин, А. В. Воеводский, О. Г. Ряжская. ПТЭ, № 1,85 (1970).
4. Г. Т. Зацепин, В. А. Кузьмин. Труды Международного семинара по физике нейтрино, часть II, стр. 156, М. 1969 г.