

Чувствительность детекторов солнечных нейтрино к внешнему потоку нейтронов

А. В. Елпидинский

Одним из элементов выбора оптимальных условий проведения нейтринного эксперимента является оценка чувствительности детектора к внешнему облучению нейтронами из грунта и своевременная организация необходимой защиты. В этой связи нами были подробно проанализированы те материалы, общие характеристики и особенности применения которых в качестве детекторов солнечных нейтрино достаточно полно обсуждены в литературе^{1,2,3}. Для радиохимического*) метода регистрации такими материалами являются:

- (1) Перхлорэтилен (C_2Cl_4);
- (2) Насыщенный раствор хлористого галлия в воде (100 г $GaCl_3$ на 100 см³ H_2O);
- (3) Насыщенный раствор хлористого лития в воде (80 г $LiCl$ на 100 см³ H_2O)

Оценки абсолютной величины фона производились исходя из следующих основных положений. Так как нейтринные эксперименты характеризуются применением больших детекторов, вес которых измеряется тоннами, а линейные размеры — метрами, то при оценках всюду пренебрегалось эффектом утечки нейтронов из детекто-

*) Фон, создаваемый в дифференциальных электронных детекторах, подробно рассматривался в работе⁸.

ра в процессе их замедления и диффузии. Пренебрежение потерями нейтронов позволило ввести для всех детекторов проинтегрированное по глубине замедления распределение потока нейтронов в зависимости от энергии:

$$dE \int_0^{\infty} \Phi(E, x) dx = \Phi(E^0) \frac{dE}{(\xi \bar{L}_s) \cdot E}, \quad (1)$$

где $\Phi(E^0)$ - моноэнергетический поток нейтронов, падающих на поверхность, $E < E^0$ (в Мэв), а $(\xi \bar{L}_s)$ - средняя замедляющая способность материала. Это выражение непосредственно вытекает из классического решения Плачека⁴ для уравнения переноса нейтронов. С точностью порядка $\pm 20\%$ оно справедливо даже для лёгких ядер (дейтерия и углерода). Множитель в виде дроби в правой части имеет физический смысл суммарного пробега нейтронов с заданной энергией (E) в процессе их замедления. Выражение (1) позволяет сильно упростить оценки вклада большого количества рассматриваемых каналов образования фона.

При анализе зависимости величины фона от энергии падающих на детектор нейтронов они считались моноэнергетическими. Находилась величина фона в диапазоне энергий от тепловой до 15 мэв.

Оценки⁵ интенсивности нейтронного излучения горных пород и прямые экспериментальные измерения^{6,7} полного выхода нейтронов из гранитов показывают, что ожидаемые суммарные потоки из грунта составляют $0,1 + 1,0$ нейтронов/см² час. При расчётах за исходное значение брался верхний предел - 1 нейтрон/см² час.

Полнота рассмотрения всех возможных путей образования фона характеризуется тем, что были учтены⁸ все каналы, включая последовательные трёхступенчатые реакции с участием как проникающего излучения (нейтронов и жёстких гамма-квантов), так и тяжёлых заряженных частиц. При этом для радиохимических

детекторов последними этапами образования фона являются реакции наведения активности с атомным номером на единицу большим, чем у рабочего изотопа. По оценкам максимальная величина ошибки не превышает множителя, равного двум*).

С помощью полученных⁸ оценок вклада различных каналов в фон, было проведено сравнение детекторов по признакам, имеющим в настоящее время наибольший практический интерес. Таковыми являются:

- 1) требования, предъявляемые к защите при использовании в детекторах чистых химических соединений;
- 2) допустимые концентрации возможных химических примесей;
- 3) влияние на требования к защите водородосодержащих растворителей.

Формулировка окончательных требований к защите и сравнение детекторов по этому признаку оказалось возможным благодаря использованию известных оценок^{2,9} величин ожидаемого при регистрации солнечных нейтрино эффекта (пересчитанных для $\Phi_{\nu}(B^8) = 1.10^{+6}$ $\nu/\text{см}^2\text{сек}$). Кроме того было сделано предположение, что для проведения нейтринного эксперимента достаточно, чтобы фон не превышал 10% от ожидаемого нейтринного эффекта.

Все три рассмотренных детектора характеризуются тем, что для них основными каналами образования фона являются цепочки двойных последовательных реакций (n, p) и (p, n). Выход остальных реакций меньше по крайней мере на два порядка. Окончательные результаты по чистым химическим соединениям (без растворителей) приведены в таблице в виде предельно допустимых потоков (Φ^*), создающих в каждом детекторе фон, равный 10% от ожидаемого эффекта.

*) Оценка чувствительности перхлорэтиленового детектора к помещению внутрь бака $RaBe$ источника менее чем в 2 раза отличалась от результатов калибровки, проведенной Дэвисом в его экспериментах².

Материал детектора	C_2Cl_4	$GaCl_3$	$LiCl$
$\Phi^{н.г.} \frac{н}{см^2 \text{ час}}$:	$6 \cdot 10^{-2} \frac{L(M)}{E^3}$;	$0,25 \frac{L(M)}{E^3}$;	$10^{-3} \frac{L(M)}{E^1}$;

Приведённые значения пропорциональны линейным размерам детектора L (в метрах), т.к. нейтроны создают поверхностный эффект. Степенная зависимость от энергии нейтронов (выражена в мэв) отражает поведение сечений реакции. Так как ожидаемый⁵ спектр нейтронов из грунта имеет вид:

$$\Phi(E) = \Phi_0(E/T^2) \cdot \exp(-E/T) ; \quad (2)$$

т.е. спадает с энергией быстрее, чем степенные зависимости $\Phi^{н.г.}$ от энергии, то в первом приближении в качестве требуемой от защиты кратности ослабления внешних нейтронных потоков можно брать числовой множитель из табличных значений $\Phi^{н.г.}$, относя его к полному потоку быстрых нейтронов.

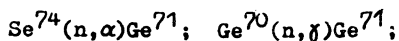
При использовании в качестве растворителя воды (с указанной выше концентрацией) фон возрастает и требуемая от защиты кратность ослабления внешних потоков становится равной:

$$\text{для раствора } GaCl_3 - \Phi^{н.г.} \leq 10^{-3} \cdot \frac{L(M)}{E^3} ;$$

$$\text{для раствора } LiCl - \Phi^{н.г.} \leq 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{L(M)}{E^2} ;$$

Под действием медленных и тепловых нейтронов фон в радиохимических детекторах может образоваться только на химических примесях. Для перхлорэтлена вследствие реакции $Ca^{40}(n, \alpha)Ar^{37}$ наиболее опасной примесью является Ca.

Для GaCl_3 величина фона определяется содержанием Se и Ge за счёт реакций:



Только в LiCl из-за очень большого сечения поглощения нейтронов, не приводящего к образованию фона, наличие примесей не критично вплоть до $\leq 0,01\%$ по весу (технические соли). Это определяет допустимые предельные потоки медленных и тепловых нейтронов *) в расчёте на процент содержания опасных примесей:

$$\text{для } \text{C}_2\text{Cl}_4 - \Phi^{n, \gamma} \frac{\text{нейтронов}}{\text{см}^2 \text{ час } \% \text{Ca}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{L(м)};$$

$$\text{для } \text{GaCl}_3 - \Phi^{n, \gamma} \frac{\text{нейтронов}}{\text{см}^2 \text{ час } \% \text{Se}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{L(м)};$$

Из приведённых данных можно сделать следующие практические выводы:

1) Использование для солей водородосодержащих растворителей увеличивает требования к защите.

2) При заполнении детекторов рабочим материалом требуется тщательный контроль за содержанием примесей опасных элементов (технически чистые соединения могут содержать вплоть до 0,01% примесей).

3) Лучшим по отношению к внешнему фону нейтронов является перхлорэтилен.

Поступила в редакцию 29 октября 1969 г.

После переработки 5 марта 1970 г.

*) Так как в детекторах происходит полное замедление всех падающих на их поверхность нейтронов, это условие можно перенести на полные потоки нейтронов.

Л и т е р а т у р а

1. Кузьмин В. А. Диссертация, ФИАН, 1967 г.
2. Дэвис , Доклад на Московском семинаре по нейтринно, 1968 г.
3. Поманский А. А. Препринт ФИАН № 29, 1968 г.
4. Plaszek G. Phys. Rev. 69, 423 (1946).
5. Елпидинский А. В. Отчёт ФИАН, 1964 г.
6. Горшков и др. Атомная энергия, 13, 475 (1962).
7. Feige et all, J.G.R. 73, 3135 (1968).
8. Елпидинский А. В. Препринт ФИАН № 134, М. 1959 г.
9. Зацепин Г. Т., Кузьмин В. А. Доклад на Московском семинаре по нейтринно, 1968 г.