

УДК 539.1.074

Радиохимический детектор быстрых нейтронов малой интенсивности

БАРАБАНОВ И. Р., ГАВРИН В. Н., ЗАЦЕПИН Г. Т., ОРЕХОВ И. В., ЯНОВИЧ Е. А.

Для некоторых задач экспериментальной физики необходимо регистрировать чрезвычайно низкие потоки быстрых нейтронов. К таким задачам относятся и проблема регистрации потока быстрых нейтронов от земного грунта, весьма существенная для радиохимических детекторов солнечных нейтрино [1]. Ожидаемая плотность потока быстрых нейтронов, возникающих в результате спонтанного деления ^{238}U и (α, n) -реакции от α -активных изотопов в горных породах ~ 1 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{сут})$ [2]. В настоящей работе описывается конструкция радиохимического детектора, способного регистрировать столь низкий поток.

Для регистрации быстрых нейтронов используется реакция $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$. Образующийся ^{37}Ar является радиоактивным К-захватным изотопом с периодом полураспада 37 сут. Сечение этой реакции представлено на рисунке [3], из которого следует, что детектор на основе ^{40}Ca регистрирует быстрые нейтроны энергией $E \geq 2$ МэВ. Простая оценка показывает, что для регистрации столь низкого потока нейтронов, даже с учетом применения методики регистрации очень малых активностей образующегося ^{37}Ar требуется ~ 100 кг кальция. Используя хорошо разработанную технику извлечения инертных газов из жидкостей [4, 5], можно экстрагировать образующийся ^{37}Ar из водных растворов солей кальция. Однако все имеющиеся соли кальция плохо растворимы в воде, что приводит к чрезмерному увеличению размеров детектора. Кроме того, большое количество воды в детекторе действует как замедлитель быстрых нейтронов, т. е. снижает эффективность регистрации. Поэтому при создании настоящего детектора использовали свойство ^{37}Ar легко высвобождаться из некоторых твердых органических соединений [6]. Была исследована возможность извлечения ^{37}Ar из ряда различных порошкообразных соединений кальция. Метод состоял в следующем [7]: изучаемое вещество помещали в герметичную колбу объемом ~ 50 см³, откачивали до давления $\sim 10^{-4}$ мм рт. ст. и облучали нейтронами $\text{Pu} - \text{Be}$ источника. Затем колбу соединяли с ловушкой, содержащей активированный уголь при температуре -196°C . Выделяющийся из кристаллов вещества ^{37}Ar сорбировали углем ловушки. Извлеченный газ очищали и перекачивали в миниатюрный пропорциональный счетчик объемом 0,5 см³, которым измеряли активность ^{37}Ar . Установка очистки

и перекачки ^{37}Ar подробно описана в публикации [8]. Для сравнения аналогично облучали водный раствор хлористого кальция, из которого ^{37}Ar извлекали продувкой гелием. Было принято, что из раствора извлекается 100% образовавшегося ^{37}Ar . Более подробно результаты проведенных исследований изложены в работе [7], здесь же только отметим, то извлечение ^{37}Ar , близкое к 100% (с погрешностью $\pm 3\%$), достигнуто для шавелевокислого кальция (CaC_2O_4), который имеет высокое (31 мас.%) содержание кальция и не содержит водорода — замедлителя быстрых нейтронов. На основе полученных результатов был создан детектор быстрых нейтронов.

Детектор состоит из герметичного цилиндра диаметром 60 и высотой 120 см, заполненного 185 кг CaC_2O_4 . Перед заполнением CaC_2O_4 просушивали при температуре 200°C для удаления химически связанной воды, которая значительно снижает выход ^{37}Ar . На верхнем торце цилиндра установлен вентиль с диаметром проходного отверстия 20 мм для откачки детектора и извлечения образовавшегося ^{37}Ar . Для контроля давления в нижней части цилиндра имеется манометрическая лампа ПТМ-4М.

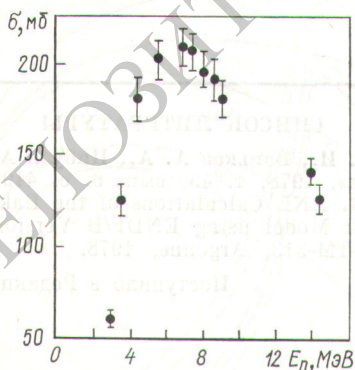
При исследовании скорости извлечения ^{37}Ar детектор откачивали до давления $\sim 10^{-3}$ мм рт. ст. и затем облучали нейтронами $\text{Pu} - \text{Be}$ источника. Образовавшийся ^{37}Ar сорбировался в стеклянной ловушке, содержащей 5 г активированного угля, при температуре 196°C . В зависимости от времени извлечения измеряли количество сорбированного ^{37}Ar . Было установлено, что процесс извлечения ^{37}Ar подчиняется закону $Q/Q_0 = [1 - \exp(-t/t_0)]$, где Q/Q_0 — доля извлеченного ^{37}Ar ; t — время извлечения; $t_0 = 1,4$ ч. Согласно полученной зависимости 95% ^{37}Ar извлекается примерно за 4,2 ч. Эффективность регистрации детектором нейтронов $\text{Pu} - \text{Be}$ источника составляет $\sim 1\%$. Современная техника низкофононых измерений позволяет регистрировать столь низкую активность ^{37}Ar , как ~ 1 расп./сут [8]. Предлагаемый детектор способен регистрировать потоки быстрых нейтронов энергией ≥ 2 МэВ вплоть до $\sim 10^{-2}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{сут})$. При этом следует отметить, что детектор не чувствителен к γ -квантам энергией до 10 МэВ и предназначен для измерения потока быстрых нейтронов от земного грунта.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессору Р. Дэвису за полезные дискуссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еллидинский А. В. «Краткие сообщ. по физике», 1970, № 4, с. 41.
2. Глотов В. И. Там же, № 7, с. 75.
3. Barnes J. «J. Inorg. Nucl. Chem.», 1975, N 37, p. 399.
4. Дэвис Р. В кн.: Труды междунар. семинара по физике нейтрино и нейтринной астрофизике. Ч. II. М., «Наука», 1968, с. 99.
5. Barabanov e.a. In: Proc. Conf. «Neutrino-77». Moscow, 24—26 June, 1978, p. 62.
6. Spannagel G., Fireman E. «Geophys. Res.», 1972, N 71, p. 5351.
7. Барабанов И. Р. и др. «Изв. АН СССР. Сер. физ.», 1976, № 40, с. 1050.
8. Барабанов И. Р. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 6, с. 503.

Поступило в Редакцию 05.02.79



Сечение реакции $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$