

УДК 539.1.074.8:524.1

МОНИТОРИНГ ПОТОКА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРОВ НОВОГО ТИПА

Д. М. Громушкин^{1,3}, Ю. В. Стенькин², И. Б. Хацуков¹

Продемонстрирована возможность использования для регистрации тепловых нейтронов неэкранированных детекторов нового типа на основе сернистого цинка $ZnS(Ag)$ и фтористого лития, обогащенного до 90% изотопом 6Li . Представлены результаты измерений темпа счета и потока тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли. Показано наличие градиента концентрации тепловых нейтронов вблизи земной поверхности при размещении счетчика на различных уровнях (от -4 м до 10.5 м) в экспериментальном здании. Показано влияние метеопараметров на темп счета тепловых нейтронов за длительный период времени.

Ключевые слова: тепловые нейтроны, поток тепловых нейтронов, градиент.

Несмотря на то, что первые измерения потока нейтронов в земной атмосфере были выполнены около 70 лет назад [1], до сих пор экспериментальные данные по этой проблеме скудны и не систематизированы, а исследования потока тепловых нейтронов на малых высотах вблизи поверхности Земли вообще не проводились.

Для регистрации тепловых нейтронов в данной работе используется неорганический сцинтиллятор, представляющий собой гранулированный сплав кристаллов на основе порошка $ZnS(Ag)$ с примесью LiF , обогащенного изотопом лития-6 (светосостав СЛ6-5) [2, 3]. Заметим, что $ZnS(Ag)$ является наиболее эффективным сцинтиллятором для регистрации тяжелых частиц с рекордным α/e – соотношением. В результате захвата одного нейтрона высвечивается 160000 фотонов, что позволяет создавать детекторы большой площади ($\sim m^2$). Такие счетчики имеют ряд преимуществ перед обычно используемыми газовыми приборами: достаточно большую эффективность и существенно лучшее

¹ Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ” Федеральное агентство по образованию, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31.

² Институт ядерных исследований РАН, 117312, Москва.

³ E-mail: dmgramushkin@mephi.ru

быстродействие. Кроме того, они имеют очень низкую чувствительность к одиночным заряженным частицам и в этом их несомненное преимущество перед сцинтилляторами типа литиевого стекла или пластика с добавками бора (лития). По этому параметру они не уступают газовым и могут с успехом использоваться для регистрации слабых потоков тепловых нейтронов в счетном режиме.

Конструкция нейтронного счетчика представляет собой пирамиду, в основании которой расположен сцинтиллятор. Внутренняя поверхность пирамиды (диффузор) покрыта специальной белой краской с высоким коэффициентом диффузного отражения (95%). Эффективная площадь сцинтиллятора в таком детекторе составляет $\sim 0.75 \text{ м}^2$ (рис. 1).

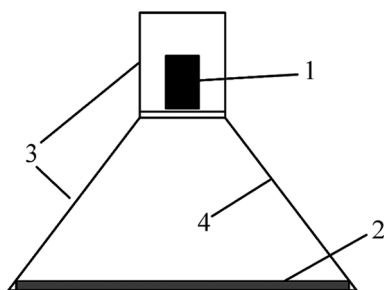


Рис. 1: Конструкция нейтронного детектора: 1 – ФЭУ-200; 2 – сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag})+{}^6\text{Li}$; 3 – светозащитный корпус детектора; 4 – светоотражающее покрытие.

На данный момент работают пять таких детекторов. Для контроля фоновых условий эксперимента каждые 5 минут собирается мониторинговая информация о темпе счета нейтронов, температуре окружающей среды, абсолютной влажности и давлении. Пример накопленных за сутки спектров сигналов от пяти детекторов показан на рис. 2, для наглядности представлен весь спектр сигналов, регистрируемых счетчиками. На полученном спектре можно различить: собственные шумы счетчиков, регистрируемые при срабатывании другого счетчика (детекторы подключены по схеме ИЛИ); пики от заряженных частиц и пики от тепловых нейтронов. Из рисунка видно, что тепловые нейтроны хорошо разделяются с заряженными частицами. Число зарегистрированных тепловых нейтронов (темп счета нейтронов) для данной конфигурации детектора составляет ~ 60 нейтронов в минуту.

Проведены измерения темпа счета тепловых нейтронов за длительный период времени в экспериментальном здании на высоте ~ 10.5 м над уровнем грунта. Обнаружена

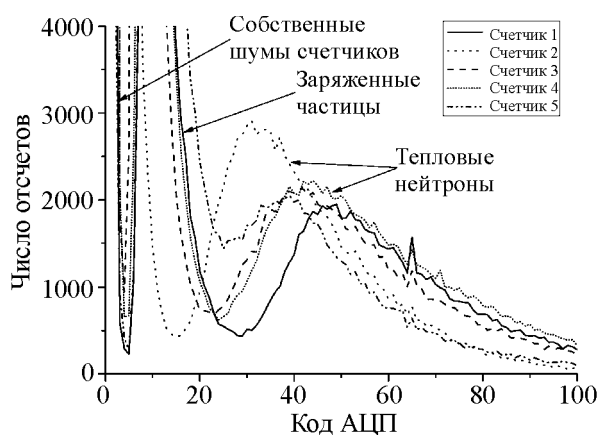


Рис. 2: Спектры сигналов от пяти нейтронных детекторов, измеренные в течение суток (код АЦП пропорционален величине максимальной амплитуды сигнала, получаемого с детектора).

корреляция между темпом счета тепловых нейтронов и температурой (с повышением температуры скорость счета нейтронов увеличивается в соответствии с зависимостью $F = n\langle v \rangle$, где n – концентрация нейтронов в воздухе, а $\langle v \rangle$ – их средняя скорость теплового движения), а также влажностью (высокая влажность повышает вероятность термализации нейтронов в воздухе).

Измерения концентрации тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли проводились внутри экспериментальных зданий на разных высотах от -4 м до 12.5 м (рис. 3). Полученные экспериментальные результаты полностью согласуются с моделированием, проведенным методом Монте-Карло. Измерения показали, что в подвальном помещении (~ 2.5 м ниже уровня грунта) концентрация нейтронов в три-четыре раза меньше, чем на уровне четвертого этажа (~ 10.5 м). “Ступенька” на высоте ~ 5 м над уровнем грунта как в экспериментальных данных, так и в расчете, связана с конструктивной особенностью здания.

Градиент концентрации тепловых нейтронов составил $dn/dh \approx 1.27 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-4}$. При наличии градиента должна наблюдаться диффузия тепловых нейтронов сверху вниз. Ранее концентрация нейтронов над земной поверхностью измерялась в работе [4] с помощью стандартных гелиевых счетчиков. Полученная концентрация тепловых нейтронов на высоте нескольких метров составила $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-3}$, что хорошо согласуется с нашими измерениями концентрации (от $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-3}$ до $1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-3}$ на высотах от 0 до 6 м).

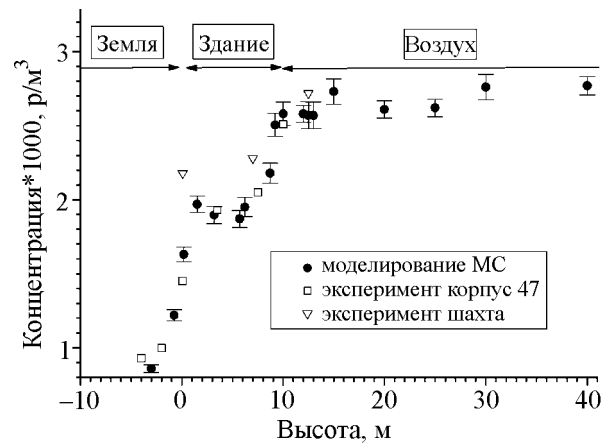


Рис. 3: Измерения концентрации тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли.

На основе измерений темпа счета тепловых нейтронов на разных высотах показано наличие градиента концентрации тепловых нейтронов в воздухе над земной поверхностью. Измерена величина этого градиента в направлении сверху вниз. Опыт длительной эксплуатации показал, что нейтронные счетчики данного типа могут быть использованы для непрерывного мониторинга изменений концентрации тепловых нейтронов, вызванных как естественными, так и техногенными факторами.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке Министерства образования и науки, ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” и гранта ведущей научной школы НШ-5712.2010.2, а также грантов РФФИ №№ 09-02-12380_офи_м, 09-02-92426_КЭ и 08-02-01208).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Н. А. Bethe, S. A. Korff and G. Placzek, Phys. Rev. **57**(7), 573 (1940).
- [2] Ю. В. Стенькин и др., Изв. РАН. Сер. физ. **71**(4), 558 (2007).
- [3] Ю. В. Стенькин, Д. Д. Джаптуев, Х. Ф. Вальдес-Галисия, ЯФ **70**(6), 1123 (2007).
- [4] Б. М. Кужевский и др., Препринт НИИЯФ МГУ 96-7/414 (МГУ, Москва, 1996).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 14 октября 2010 г.