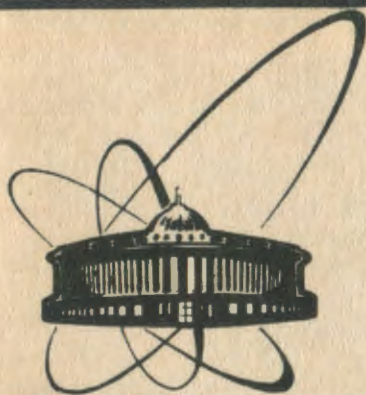


90-169



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

К 17

P3-90-169

С.Д.Калчев, А.В.Стрелков

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ  
ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГИСТРАЦИИ  
НАГРЕТЫХ УХН НА РЕАКТОРЕ ИБР-2

1990

1. Исследование нагретых /неупруго рассеянных с приобретением энергии/ ультрахолодных нейтронов<sup>1/1</sup> является источником информации о количестве и динамике атомов в приповерхностном слое вещества толщиной  $\sim 150 \text{ \AA}$ . В<sup>2/2</sup> было показано, что даже при сравнительно маленькой плотности потока УХН  $\sim 1 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  за  $\sim 10$  мин обеспечивается статистическая точность, необходимая для обнаружения  $\sim 0,1$  монослоя водородосодержащих молекул на поверхности сосудов для хранения УХН. Ожидалось, что несмотря на сравнительно низкую плотность потока УХН  $\sim 0,2 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  на импульсном реакторе ИБР-2<sup>3/3</sup>, блокируя детектор нагретых нейтронов на время вспышки реактора, можно существенно подавить фон от нейтронов с энергиями выше энергии УХН и выделить импульсы от нагретых УХН из фона.

Исследованию этих возможностей и посвящена эта работа.

2. Счетчик подогретых нейтронов /СПН/ конструктивно оформлен в виде емкости между двумя коаксиальными цилиндрами  $\phi 18 \text{ см}$  и  $\phi 8,5 \text{ см}$ , длиной  $65 \text{ см}$ . Наружный цилиндр изготовлен из нержавеющей стали, внутренний - из алюминиевого сплава АМЦ толщиной  $2 \text{ мм}$ . Это пространство симметрично разбивается продольными пластинами на 6 равных частей, посередине которых протянуты проволочки /аноды/ - золоченый вольфрам  $\phi 30 \text{ мкм}$ . Все аноды соединяются между собой. Счетчик наполняется газовой смесью:  $^3\text{He}$  - 2 атм,  $\text{Ar}$  - 2,5 атм и  $\text{CO}_2$  - 25 Торр. Расчетная эффективность к точечному источнику тепловых нейтронов, расположенному в центре СПН, 83%. Счетчик работает в пропорциональном режиме с амплитудой импульса  $\sim 3 \text{ мВ}$  и полушириной пика амплитудного распределения, составляющей 20% от энергии реакции  $^3\text{He} (n, p) \text{T}$  /рис.1/. Ввиду довольно значительного стеночного эффекта нижний порог регистрации соответствует энергии тритона  $\sim 0,19 \text{ МэВ}$ , а верхний -  $0,9 \text{ МэВ}$ . Естественный фон СПН

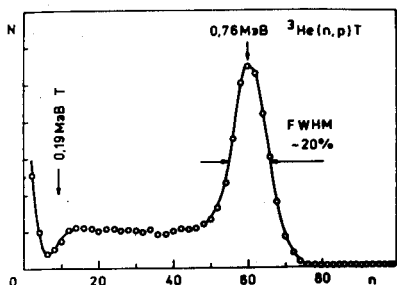
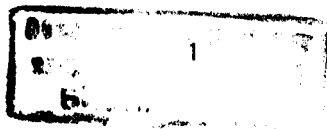


Рис.1. Амплитудное распределение импульсов от СПН при регистрации тепловых нейтронов от источника, расположенного в центре СПН.



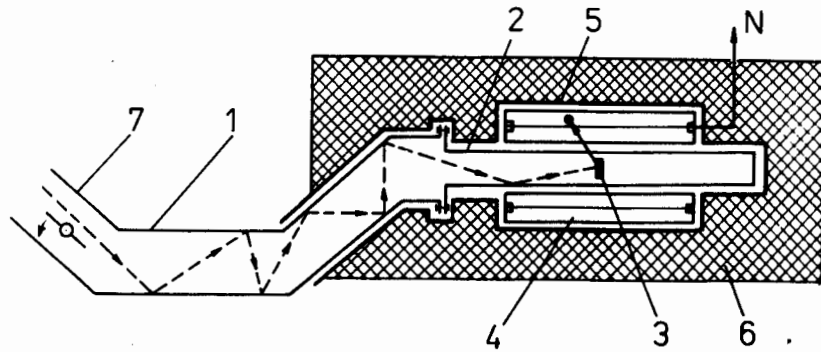


Рис.2. Схема эксперимента.

без защиты при неработающем реакторе составляет  $\sim 1 \text{ с}^{-1}$ . Защита из листового кадмия толщиной 1 мм и борированного полиэтилена толщиной 15 см уменьшает этот фон до  $0,1 \text{ с}^{-1}$ .

3. На реакторе ИБР-2 /рис.2/ УХН через несколько угловых поворотов от транспортного нейтроновода /1/ поступали внутрь медной трубы /2/  $\phi$  8 см, толщина стенки 2 мм, длина 1,5 м/ с электрополированной внутренней стенкой. УХН неупруго рассеиваются /с подавляющей вероятностью нагреваются/ на стенках трубы или на помещаемых внутрь трубы образцах из полиэтилена - реконверторов УХН /3/ и регистрируются СПН /4/, надетым на трубу. Импульсы от СПН через схему пропускания поступают на амплитудный анализатор. Схема пропускания, синхронизируемая с моментом импульса ИБР-2, запирает анализатор на время  $10^{-2} \text{ с}$ , в течение которого скорость счета СПН очень большая, вызванная быстрыми и тепловыми нейтронами.

4. При работе ИБР-2 / $W = 2 \text{ МВт}$ ,  $f = 5 \text{ с}^{-1}$ / нейтронный фон СПН без защиты составил  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$ , с защитой из листового кадмия /5/ толщиной 1 мм фон  $\sim 1,4 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$ ; с добавлением к защите борированного полиэтилена /6/ толщиной 5 см фон составил  $\sim 10 \text{ с}^{-1}$ , а при толщине борированного полиэтилена в 10 см фон снизился до  $\sim 0,25 \text{ с}^{-1}$ . При открытом барабанном шибере на нейтроноводе УХН фон СПН возрастал в 3 раза. Фон СПН в рабочих условиях определялся при закрытой медной шторке /7/ толщиной 10 мкм, перегораживающей все сечение подводящего нейтроновода, и составил  $\sim 0,6 \text{ с}^{-1}$ .

Измеряемое значение потока нагретых УХН определялось по разнице в счете СПН с открытым и закрытым шторкой нейтроноводом соответственно. Полное время измерений разбивалось на отдельные серии по 200 с с последующим суммированием, что вместе

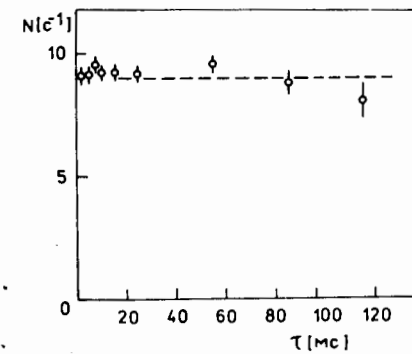
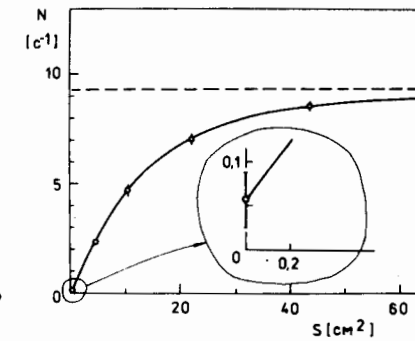


Рис.3. Зависимость интенсивности регистрации УХН  $N$  от времени задержки от момента импульса реактора  $t$ .

Рис.4. Зависимость интенсивности регистрации  $N$  от площади реконвертора  $S$ .



с применением амплитудного анализа позволяет повысить достоверность получаемых результатов. Интенсивность регистрации УХН, нагретых на стенках трубы, составила  $0,056 \pm 0,034 \text{ с}^{-1}$ , а на полиэтиленовом диске /толщ. 60 мкм/, помещенном в центре СПН и перекрывающем все сечение трубы,  $0,87 \pm 0,12 \text{ с}^{-1}$ . На рис.3 показан результат измерения зависимости интенсивности регистрации нагретых нейтронов на полиэтиленовом диске от времени после вспышки реактора. Такой зависимости не обнаружено, что свидетельствует о достаточно постоянной плотности УХН на конце нейтроновода за время между вспышками реактора. На рис.4 показана зависимость интенсивности регистрации нагретых УХН от площади реконвертора - полиэтиленового диска, на поверхности которого с вероятностью  $\sigma_{ie}/\sigma_t \sim 1$  происходит обратный процесс /по отношению к процессу охлаждения нейтрона от теплового до УХН в конверторе/ - ускорение УХН до энергии тепловых нейтронов. Насыщение зависимости  $N(S)$  указывает на эффект накопления УХН в трубе при малых площадях реконвертора, когда плотность УХН увеличивается в  $\sim 2,5$  раза по сравнению с плотностью УХН при больших площадях реконвертора /поглотителя УХН/. Учитывая эффективность СПН, плотность УХН при малой площади реконвертора составляет  $0,22 \pm 0,02 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ . Установлено, что при достаточно хорошей защите от нейтронов фон СПН в промежутке между вспышками реактора определяется не нейтронами, поскольку амплитудное распределение этих импульсов не формирует пик в районе  $E \sim 0,76 \text{ МэВ}$ , а представляет собой довольно равномерное распределение с интенсивностью регистрации  $\sim 0,15 \text{ с}^{-1}$  в энергетическом интервале  $0,15 \pm 1,0 \text{ МэВ}$ .

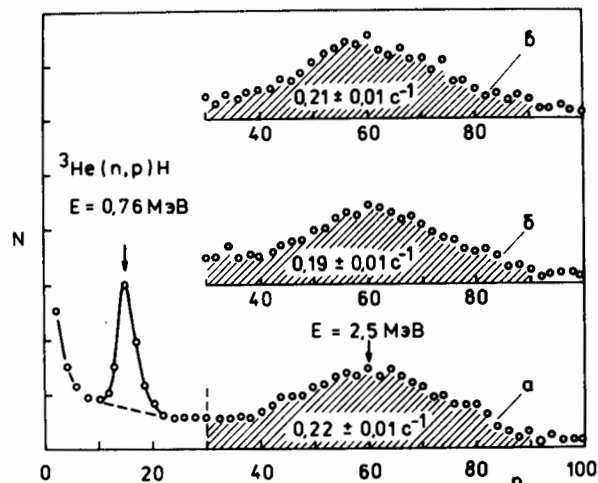


Рис.5. Амплитудное распределение импульсов от СН в защите от нейтронов при неработающем реакторе: а - рабочее наполнение СН:  ${}^3\text{He}$  - 2 атм,  $\text{CO}_2$  - 25 Торр и  $\text{Ar}$  - 2,5 атм; б - наполнение СН:  ${}^3\text{He}$  - 20 Торр,  $\text{CO}_2$  - 25 Торр и  $\text{Ar}$  - 1 атм; в - наполнение СН:  ${}^3\text{He}$  - 20 Торр,  $\text{CO}_2$  - 25 Торр и  $\text{Ar}$  - 4 атм.

На рис.5 показан амплитудный спектр импульсов от СН в защите:  $\text{Cd}$  /1 мм/ + борированный полиэтилен толщиной 5 см, когда измерения проводились в лабораторном здании ЛНФ, удаленном от реактора на 1 км. В области  $\sim 2,5$  МэВ виден довольно хорошо сформированный пик с интенсивностью  $\sim 0,2$   $\text{с}^{-1}$  в интервале энергий /1 $\div$ 5/ МэВ.

В принципе основная составляющая компонента космического излучения - мюонная, она может сформировать пик в амплитудном спектре СН, поскольку для мюонов в довольно широком диапазоне энергий  $dE/dx \approx \text{const}$  и составляет  $\sim 1,8$  МэВ/г. Для нашего заполнения СН средняя энергия, оставляемая в СН мюонной компонентой, равна  $\sim 0,1$  МэВ при интенсивности  $\sim 20$   $\text{с}^{-1}$ . Расчетный фон от наложений импульсов от космического излучения на порядок меньше наблюдаемого не нейтронного фона в этом энергетическом диапазоне. Скорее всего этот фон является крылом от широкого пика с  $\bar{E} \sim 2,5$  МэВ. Вероятно, этот пик вызван естественной  $\alpha$ -активностью стенок СН, поскольку  $\beta^-$ - и  $\beta^+$ -частицы принципиально не могут оставить в газе, наполняющем СН, энергию  $\sim 3$  МэВ. Это подтверждают измерения амплитудных спектров от СН /рис.5б и 5в/ при разных давлениях аргона /но по-

стоянном количестве  ${}^3\text{He}$   $p = 20$  Торр и  $\text{CO}_2$   $p = 50$  Торр/, необходимых для энергетической калибровки по  $Q = 0,76$  МэВ реакции  ${}^3\text{He}(n,p)$  Т.

Пользуясь данными измерений естественной  $\alpha$ -активности /в основном  ${}^{226}\text{Ra}$  и  ${}^{210}\text{Po}$ / в конструкционных материалах<sup>/4/</sup>, для внутренних стенок СН /нержавеющая сталь и дюраль,  $S \sim 1$  м<sup>2</sup>/ получаем значение  $\alpha$ -фона  $\sim 0,1$   $\text{с}^{-1}$  в полном энергетическом диапазоне 0 $\div$ 6 МэВ. Этот фон в нашем энергетическом диапазоне, соответствующем регистрации нейтрона 0,2 $\div$ 0,9 МэВ, должен быть во много раз меньше. Если все-таки принять то, что наш фон вызван  $\alpha$ -частицами, то необходимо предположить, что использованные нами материалы для стенок СН загрязнены  $\alpha$ -активностью в  $\sim 10$  раз больше, по сравнению с величиной, приведенной в<sup>/4/</sup>. При разумном предположении о равномерном распределении  $\alpha$ -активных ядер по всему объему материала стенки зависимость тормозной способности материала стенки для  $\alpha$ -частиц от  $E$  приводит к формированию широкого пика в области энергий  $\sim 3$  МэВ. Наличие пика также указывает на возможную поверхностную локализацию  $\alpha$ -активных ядер на внутренних стенках СН. В принципе такое поверхностное  $\alpha$ -загрязнение /в 10 раз больше естественного/ может быть вызвано применением  $\alpha$ -загрязненных химических реактивов ( $\text{NaOH}$  и  $\text{KOH}$ ) для травления внутренних стенок СН в процессе его создания. К накоплению  $\alpha$ -активных атомов на поверхности алюминия могут привести и процессы осаждения равномерно растворенных в материале стенки тяжелых элементов /вплоть до  $\text{Ra}$ / во время их травления<sup>/5/</sup>. На поверхностную локализацию более тяжелых элементов в процессе травления указывает результат специально проведенного рентген-флуоресцентного анализа проб, снимаемых с протравливаемой алюминиевой поверхности, который показал на все увеличивающееся /по мере травления/ содержание элементов от  $\text{Mn}$  до  $\text{Cu}$ . Этот анализ не был чувствителен к более тяжелым элементам вплоть до  $\text{Ra}$ , однако этот опыт показывает только на тенденцию к локализации на границе тяжелых элементов. Отметим, здесь, что существенным способом подавления "не нейтронного фона" является дальнейшее улучшение амплитудного разрешения СН. В настоящей работе FWHM  $\sim 20\%$ , а для счетчиков типа СНМ-57 составляет 5,5%, что позволило авторам работы<sup>/6/</sup> достигнуть максимального значения фона  $\sim 2,2 \pm 0,05 \cdot 10^{-6}$  имп./см<sup>2</sup>с для катода из нержавеющей стали, а покрытие внутренних стенок этих счетчиков слоем фторопласта еще на порядок уменьшило это значение  $\alpha$ -фона<sup>/7/</sup>.

Другим способом эффективного подавления фона СН не нейтронного происхождения является создание специального СН, в конструкции которого предусмотрены пристеночные слои защитных счетчиков, образованных двумя слоями из проволоки в рабо-

чем объеме СПН. Включив эти пристеночные счетчики в схему ан- тисовпадений с рабочим объемом СПН, можно исключить любой фон от заряженных частиц - будь то космические лучи или естест- венная  $\alpha$ - и  $\beta$ -радиоактивности стенок СПН. В этом случае фон будет определяться только качеством защиты от нейтронов и про- цессами рождения тяжелых заряженных частиц от нейтральной компоненты космического фона в рабочем объеме СПН. Предвари- тельные испытания изготовленного нами такого счетчика показа- ли наличие исключительно малого собственного фона  $\sim 3$  имп. в сутки. Такие детекторы могут найти применение в эксперимен- тах по физике нейтрино<sup>8/</sup> и в поисках "гипотетического" холод- ного синтеза ядер<sup>9/</sup>.

5. На установке УХН реактора ИБР-2 возможно изучение процес- сов нагрева УХН на водородосодержащих образцах. Однако практи- чески интерес представляют лишь образцы с незначительным со- держанием водорода /порядка нескольких монослоев и менее/, для которых детальные исследования затруднены по причине малой достижимой плотности УХН на ИБР-2. Не оправдались и надежды на эффективное подавление фона от быстрых и тепловых нейтро- нов методом блокировки детектора подогретых нейтронов на время вспышки реактора ИБР-2, поскольку, как выяснилось, остаточный фон этого детектора имеет не нейтронную природу. Для постанов- ки экспериментов по исследованию нагрева УХН на слаботочных источниках УХН /в частности, и на ИБР-2/ необходимо создание специального малофонового СПН, в конструкции которого была бы предусмотрена активная защита от космического и естественного  $\alpha$ -излучения.

Авторы благодарны А.В.Русакову за помощь в измерениях и В.И.Луцикову за проявленный интерес к работе и особо - за со- действие, сделавшее проведение этого эксперимента реальностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелков А.В., Хетцельт М. - ЖЭТФ, 1978, т.74, в.1, с.23.
2. Игнатович В.К. и др. - Сообщения ОИЯИ, РЗ-82-811, Дубна, 1982.
3. Голиков В.В. и др. - ОИЯИ, РЗ-85-285, Дубна, 1985.
4. Rodrigues-Pasques R.H. et al. - Low-Level Radioactivity Measurements on Aluminium, Steel and Copper. International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 1972, v.23, p.445, Pergamon Press.
5. Skorka S. - Naturwiss, 1953, 40, p.605.
6. Видякин Г.С., Мартемьянов В.П. - ПТЭ, 1976, № 4, с.90.

7. Видякин Г.С. и др. - ПТЭ, 1989, № 4, с.70.
8. Барабанов И.Р. и др. - Атомная энергия, 1983, 54, № 2, с.136.
9. Bertin A. et al. - Nuovo Cimento, 1989, v.101A, No.6, p.997.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 марта 1990 года.