

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУЧ.1а

С - 81

Ч 080/2-78

18/IX-78

РЗ - 11593

А.Д.Стойка, А.В.Стрелков

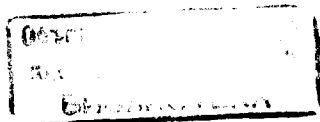
ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА  
РАЗОГРЕТЫХ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

**1978**

РЗ - 11593

А.Д.Стойка, А.В.Стрелков

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА  
РАЗОГРЕТЫХ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ



Стойка А.Д., Стрелков А.В.

РЗ - 11593

Измерение энергетического спектра разогретых ультрахолодных нейтронов

Методом вариации эффективности регистрации детектора нейтронов, окружающего сосуд с хранящимися в нем УХН, измерен энергетический спектр аномально нагретых УХН в процессе их хранения в замкнутом медном сосуде.

Вследствие исключительно низкой плотности потока нагретых нейтронов с поверхности сосуда ( $\sim 5 \cdot 10^{-4}$  нейтр/см<sup>2</sup>·с) удалось оценить лишь среднюю энергию нагретых нейтронов, которая оказалась  $\sim 10$  МэВ.

Оцениваются возможности предлагаемого метода спектроскопии нейтронов в конкретных экспериментах.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Stojka A.D., Strelkov A.V.

РЗ - 11593

Energy Spectrum Measurements for Upscattered Ultracold Neutrons

An energy spectrum of upscattered UCN during their containment in copper vessels was measured using a 4-detector system with variable effective thickness. Due to extremely low density of the heated neutron flux from the vessel surface ( $5 \cdot 10^{-4}$  neutr/cm<sup>2</sup>·s) their mean energy was estimated as approx. 10 MeV. Possibilities of the proposed methods for spectrometry of neutrons in specific experimental setups are considered.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

## ВВЕДЕНИЕ

В работе<sup>/1/</sup> было обнаружено, что причиной аномально малого /по сравнению с расчетным/ времени хранения ультрахолодных нейтронов /УХН/ является нагрев /неупругое рассеяние/ УХН на стенках удерживающих сосудов. Физика этого процесса до сих пор неясна, известно только, что такой нагрев происходит за один удар УХН о стенку сосуда, причем до энергий, намного превышающих энергию самих УХН. Логичнее всего допустить этот нагрев происходящим на водородосодержащих загрязнениях поверхности сосудов, однако эта гипотеза содержит ряд противоречивых обстоятельств<sup>/1/</sup>, несмотря даже на то, что в недавно вышедшей работе<sup>/2/</sup> такие загрязнения водородными атомами как будто были обнаружены.

Измерение энергетического спектра разогретых УХН на стенках удерживающих сосудов может дать новую информацию о механизме этого интригующего процесса.

Достигнутая в настоящей работе объемная плотность УХН, накапливаемых в сосуде /объем сосуда  $\sim 5$  л, время хранения УХН  $\tau \sim 20$  с/, сравнительно невелика / $\sim 10$  УХН в литре/, поэтому и поток разогретых нейтронов весьма мал / $\sim 1$  нейтр./с/ и в довершение к этому рассредоточен по всей поверхности сосуда для хранения УХН /плотность потока  $\sim 5 \cdot 10^{-4}$  нейтр./см<sup>2</sup>·с/. Это обстоятельство не позволяет применить в этой задаче классические методы нейтронной спектроскопии. В таких условиях существует, пожалуй, только единственный метод определения энергетического спектра: по крутизне зависимости интенсивности регистрации нейтронов от эффективности окружающего сосуд с УХН детектора.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Для детектирования разогретых нейтронов, покидающих сосуд, использовался пропорциональный многонитяной гелиевый счетчик подогретых нейтронов /СПН/, окружающий сосуд с УХН. Чувствительный объем счетчика располагался между двумя коаксиальными цилиндрами диаметрами 10 и 23 см и длиной 38 см. Подробнее этот счетчик описан в работе /1/ 4π-счетчик №3/. Изменение эффективности регистрации СПН достигалось путем вариации в нем количества  $^3\text{He}$ , к которому для улучшения амплитудных характеристик добавлялся Ag /70%/ и  $\text{CO}_2$  /1%/. Давление газовой смеси в СПН изменялось непосредственно во время измерения спектра нейтронов. При каждом фиксированном давлении конт-

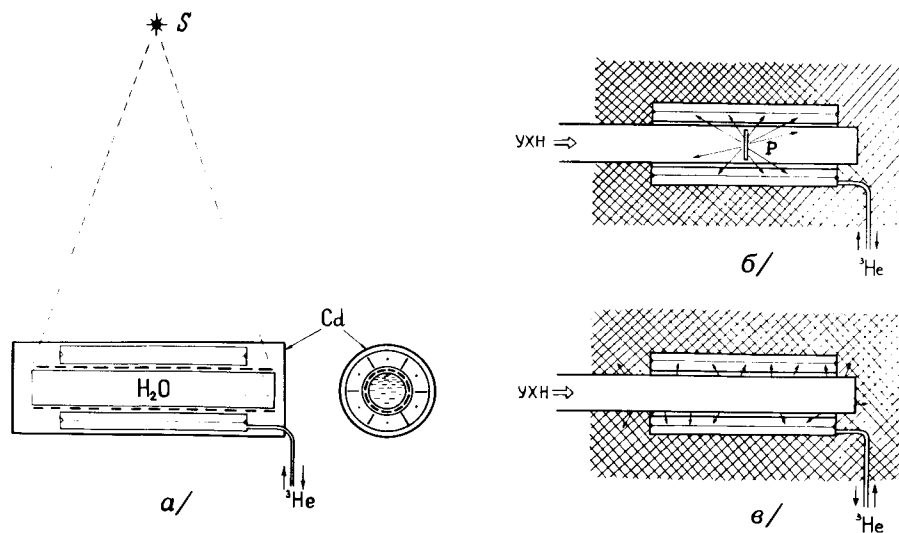


Рис. 1. Схема измерения зависимости скорости счета нейтронов от давления  $^3\text{He}$  в СПН для: а/ замедлившихся в  $\text{H}_2\text{O}$  тепловых нейтронов от источника быстрых нейтронов (S). Пунктиром показано место установки кадмиевого экрана для определения фона от более быстрых нейтронов; б/ УХН, нагретых на полиэтиленовом диске - P /Ø8 см, толщина 0,1 мм/; в/ УХН, нагретых на внутренней стенке медного цилиндра.

ролировался амплитудный дифференциальный спектр и устанавливался порог регистрации, соответствующий полному сбору первичных электронов, образованных в результате поглощения продуктов реакции  $^3\text{He}(n,p)\text{T}$  в наполняющем газе. Схема эксперимента показана на рис. 1. Зависимость  $J(P\ ^3\text{He})$  - интенсивности регистрации нейтронов от давления  $^3\text{He}$  в счетчике измерялась для: а/ тепловых нейтронов; б/ УХН, нагретых за один удар на тонком /100 мкм/ полиэтиленовом диске диаметром 8 см; в/ УХН, нагретых на электрополированной внутренней поверхности медного цилиндра диаметром 8,4 см, длиной 70 см, в котором время хранения УХН составляет  $\tau \sim 23$  с /использован сосуд №4 из работы /1/.

Тепловые нейтроны получались путем термализации быстрых нейтронов в цилиндре с водой, помещенном внутри СПН. Источник быстрых нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ) располагался на расстоянии  $\sim 4$  м от этого цилиндра, который мог закрываться от СПН кадмиевым экраном толщиной 1 мм. Для сохранения геометрического фактора регистрации нейтронов размеры цилиндра с водой были идентичны размерам медного цилиндра, используемого для хранения УХН. За интенсивность регистрации нейтронов принималась разница в интенсивности регистрации нейтронов СПН при открытом и закрытом кадмием положениях внутреннего цилиндра с водой.

Изучение спектров УХН, нагретых на полиэтиленовом диске и на стенках медного цилиндра, происходило на установке УХН<sup>3</sup> и аппаратуре, используемой в работе /1/.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Расчет  $\epsilon$ -эффективности регистрации нейтронов в СПН-выполнялся для различных конфигураций источников нейтронов, различных спектров и угловых распределений в зависимости от безразмерного параметра  $\gamma = \sigma_{^3\text{He}}(\bar{v})P\ell_{\text{эфф}}N_L$ , где  $\bar{v}$  - средняя скорость спектра нейтронов,  $N_L$  - число Лошмидта, P - давление  $^3\text{He}$ ,

${}^3\text{He}, \sigma_{3\text{He}}$  - сечение захвата для  ${}^3\text{He}$ ,  $l_{\text{эфф.}}$  - эффективная длина СПН. Ошибки в результатах, полученных методом Монте-Карло, во всех расчетах не превышали ~1%. На рис. 2 /кривая "а"/ представлена зависимость относительной эффективности регистрации нейтронов от параметра  $\gamma$ , когда источником моноэнергетических нейтронов с изотропным распределением по углам является тонкостенный цилиндр диаметром 8,4 см, длиной 70 см, симметрично расположенный внутри СПН. Аналогичные зависимости были получены для направленности скорости нейтронов перпендикулярно к поверхности излучающего цилиндра /рис. 2, кривая "б"/ и вдоль этой поверх-

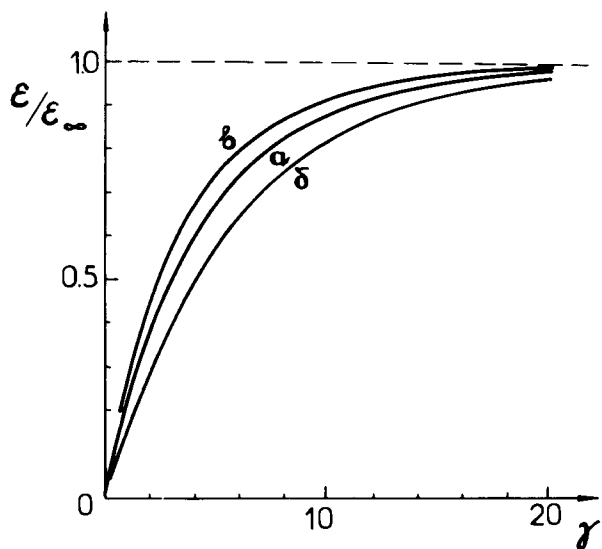


Рис. 2. Зависимость относительной эффективности регистрации СПН моноэнергетического спектра нейтронов от безразмерного параметра поглощения  $\gamma$  для: а/ изотропного распределения; б/ потока нейтронов, направленного перпендикулярно к поверхности цилиндра; в/ потока нейтронов, направленного по касательной к поверхности цилиндра,  $\epsilon_{\infty}$  - геометрическая эффективность  $\epsilon = \lim_{\gamma \rightarrow \infty} \epsilon(\gamma)$ .

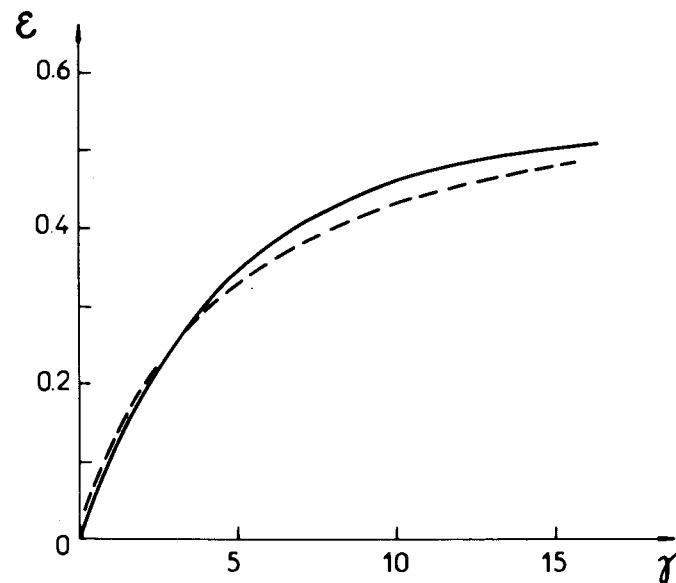


Рис. 3. Зависимость  $\epsilon$ -эффективности регистрации от безразмерного параметра поглощения  $\gamma$  для случаев: а/ моноэнергетического и б/ максвелловского спектров нейтронов.

ности /рис. 2, кривая "в"/. Неопределенность в угловом распределении разогретых нейтронов приводит к максимальной ошибке ~50% в определении энергии этих нейтронов по результатам измерения  $J(P_{3\text{He}})$ . Сравнительно слабая чувствительность к форме спектра иллюстрируется рис. 3 и свидетельствует о том, что нельзя получить более серьезную информацию относительно формы спектра разогретых нейтронов, если ошибки измерений  $J(P_{3\text{He}})$  превышают 1%.

2. При обработке результатов эксперимента с тепловыми нейтронами /рис. 1а/ величина  $\epsilon(\gamma)$  рассчитывалась при следующих предположениях: а/ источником нейтронов является наружная поверхность цилиндра диаметром 8,4 см; б/ спектр нейтронов максвелловский; в/ распределение нейтронов по углам описывается законом косинуса.

Оптимальное значение температуры спектра  $T = 549_{-50}^{+67} \text{ } ^\circ\text{K}$  получено /рис. 4, кривая "а"/ методом наименьших квадратов. Этот результат согласуется с оценкой температуры спектра из соотношения  $\Phi_{\text{epi}} / \Phi_{\text{th}} \approx 0,5^{4/4}$ , где  $\Phi_{\text{epi}}$  и  $\Phi_{\text{th}}$  - соответственно эпитепловой и тепловой потоки нейтронов / $\Phi_{\text{epi}} \propto J_{\text{cd}}$  - интенсивность регистрации нейтронов СПН от источника  $^{252}\text{Cf}$  при закрытом кадмиевым экраном внутреннем водяном цилиндре,  $\Phi_{\text{th}} \propto (J - J_{\text{cd}})$  - кадмиевая разность в интенсивности регистрации нейтронов СПН/.

3. Полученные результаты для разогрева УХН на полиэтиленовом диске представлены на рис. 4 /кривая "б"/. Средняя энергия разогретых УХН соответствует  $\sim 13 \text{ мэВ}$  в предположении максвелловской формы

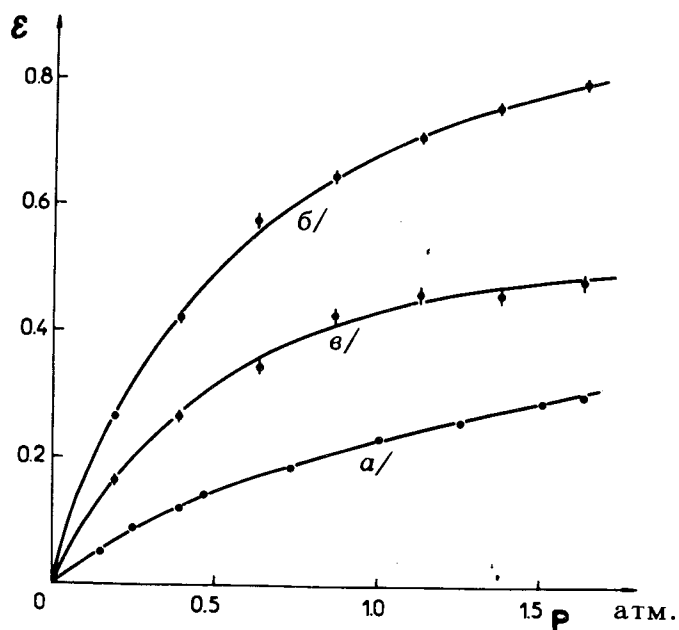


Рис. 4. Зависимость  $\epsilon$  - эффективности регистрации от давления  $^3\text{He}$  в СПН для случаев: а/ тепловых нейтронов; б/ УХН, нагретых на полиэтиленовом диске; в/ УХН, нагретых на внутренней стенке медного цилиндра.

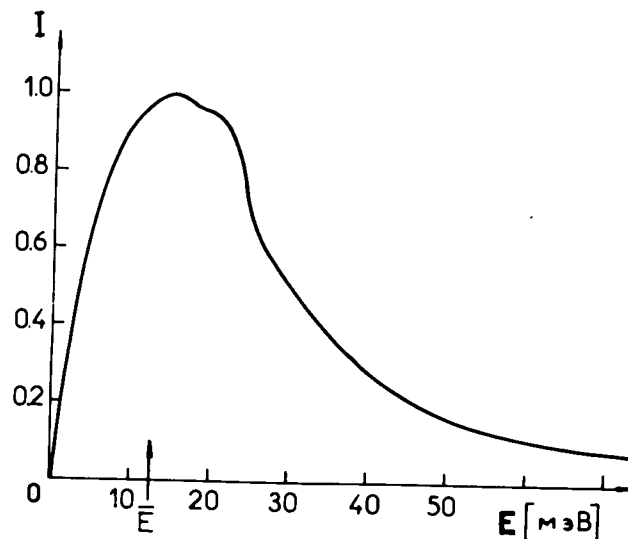


Рис. 5. Рассчитанный на основе спектра частот спектр УХН, нагретых на полиэтиленовом диске /в относительных единицах/,  $\bar{E}$  - средняя энергия нагретых УХН, полученная на основе измерений  $J(\text{P}^3\text{He})$ .

спектра и изотропного углового распределения разогретых нейтронов/. На рис. 5 показан спектр разогретых УХН на полиэтилене, рассчитанный на основе экспериментальных данных для спектра частот для полиэтилена /5/. Средняя энергия этого спектра примерно в 2 раза превышает значение, полученное для нагретых УХН. Эта разница может быть обусловлена различиями в структуре используемого образца полиэтилена в нашем эксперименте и работе /5/, а также неточным знанием спектра частот в низкоэнергетической области, чувствительность к нагреву УХН в которой намного больше.

4. Для описания результатов, полученных для случая разогрева УХН на стенках медного сосуда /рис. 4, кривая "в"/, использовалась расчетная эффективность СПН при условиях, оговоренных в пункте 1 для кривой "а" на рис. 2. Энергия ультрахолодных нейтронов, ра-

зогретых на медной стенке сосудов для хранения УХН, составляет 10 мэВ. Неопределенность в угловом распределении нагретых УХН вносит главную ошибку в этот результат, однако при этом наверняка можно утверждать, что энергия разогретых УХН находится в диапазоне энергий /5 ÷ 15/ мэВ.

Заметим, что эффективность регистрации УХН, разогретых на полиэтиленовом диске, значительно превышает эффективность регистрации УХН, нагретых на стенках медного сосуда /рис. 4/, за счет большей геометрической эффективности /~ 94% для полиэтиленового диска и ~54% для медного сосуда/.

Авторы благодарны Е.Н.Кулагину за большую помощь при проведении эксперимента, В.К.Игнатовичу, В.И.Лушикову, М.Хетцельту и Е.П.Шабалину за полезные дискуссии. Работа выполнена на установке УХН на реакторе СМ-2 НИИАР /3/ при непосредственной помощи Ю.Ю.Косвинцева, Ю.А.Кушнира, В.И.Морозова и Г.И.Терехова, за что мы весьма им признательны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелков А.В., Хетцельт М. ЖЭТФ, 1978, 74, 1, с.23; ОИЯИ, РЗ-10815, Дубна, 1977.
2. Golub B., Lanford W.A. Phys.Rev.Lett., 1977, 39, 24, p.1509.
3. Kosvintsev Yu.Yu. e.a. NIM, 1977, 143, p.133; ОИЯИ, РЗ-10238, Дубна, 1977.
4. Бекуц К., Виртц К. Нейтронная физика, Атомиздат, М., 1968, с.211.
5. Danner H.R. e.a. J.Chem.Phys., 1964, 40, 5, p.1417.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 мая 1978 года.