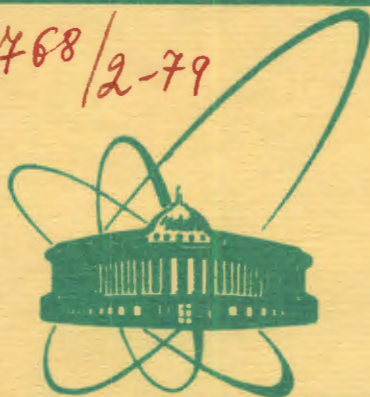


2468/2-79



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

K-154

P3 - 12271

**М.Д.Каипов, А.Д.Стойка, А.В.Стрелков,  
М.Хетцельт**

**ВРАЩАЮЩИЙСЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ СЧЕТЧИК  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ  
НЕЙТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ**

**1979**

РЗ - 12271

М.Д.Каипов,<sup>1</sup> А.Д.Стойка, А.В.Стрелков,  
М.Хетцельт<sup>2</sup>

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ СЧЕТЧИК  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ  
НЕЙТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

*Направлено в ПТЭ*

---

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

<sup>2</sup>Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль /Франция/

Каипов М.Д. и др.

P3 - 12271

Вращающийся пропорциональный счетчик для регистрации ультрахолодных нейтронов низких энергий

Описана конструкция и результаты испытания вращающегося вокруг своей оси цилиндрического газового пропорционального счетчика на основе  $^3\text{He}$ . Тонкие гофрированные стенки счетчика движутся со скоростями, превосходящими граничную скорость УХН для материала этих стенок, что дает возможность снизить порог непосредственной регистрации нейтронов до значения  $\sim 5$  нэВ и ниже.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Kaipov M.D. et al.

P3 - 12271

Rotating Proportional Counter Registering Low Energy Ultracold Neutrons

Design and testing results of rotating around its axis cylindrical gaseous proportional counter based on  $^3\text{He}$  is described. Thin corrugated walls of the counter are moving with velocities more than boundary velocity of UCN for material of these walls. It permits to diminish the boundary of direct registration of neutrons up to 5 neV and below.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## ВВЕДЕНИЕ

Для детектирования УХН - ультрахолодных нейтронов <sup>1/</sup> /энергии нейтронов 0-200 нэВ/ обычно пользуются широко известными классическими методами регистрации медленных нейтронов, основанными на регистрации ионизирующего излучения, сопровождающего захват нейтронов на ядрах радиатора. Отражение УХН от поверхности вещества радиатора является специфической особенностью регистрации УХН. При отражении от поверхности вещества они проникают вглубь его на сравнительно малое расстояние  $\sim 150 \text{ \AA}$ , на котором вероятность захвата нейтрона еще незначительна даже для сильно поглощающих веществ. Например, для металлического кадмия вероятность захвата при одном отражении не превышает  $\sim 0,1$ . В принципе, подбором взаимных концентраций ( $N_i$ ) атомов, ядра которых обладают различной по знаку длиной когерентного рассеяния ( $b_i$ ), можно ликвидировать отражение УХН от потенциального барьера такой смеси:

$$U = \frac{2\hbar^2\pi}{m} \sum_i N_i b_i,$$

где  $m$  - масса нейтрона.

Однако практически пока не удается создать такой неотражающий слой с  $U < 50$  нэВ, что, по-видимому, связано с неконтролируемым химическим составом поверхности слоев  $\sim 100 \text{ \AA}$ , либо при таких малых энергиях начинают доминировать эффекты упругого рассеяния от различного рода флуктуаций плотности и состава смеси таких веществ.

Спектры большинства эксплуатируемых в настоящее время нейтроннодов УХН либо совсем не содержат низкоэнергетической доли УХН /0-50/ нэВ, либо эта доля весьма незначительна, поэтому для регистрации УХН полного спектра в последнее время наибольшее распространение получил пропорциональный  $^3\text{He}$ -счетчик с тонким алюминиевым окном / $U_{\text{Al}}-50$  нэВ/<sup>2/</sup>. Для эффективного детектирования УХН с энергией /0-50/ нэВ можно применить методы предварительного ускорения УХН /в гравитационном<sup>3/</sup> или магнитном полях, механическим ударом от движущейся поверхности или с помощью неупругого рассеяния<sup>4/</sup> с последующей регистрацией обычными способами, при этом отражение нейтронов от детектора становится уже практически несущественным.

В ряде экспериментов с УХН малых энергий /нейтронная оптика, точное измерение спектров УХН, регистрация их непосредственно внутри удерживающих сосудов/ весьма желательно прямое детектирование УХН без предварительного их ускорения.

В работе<sup>5/</sup> было показано, что при движении гофрированной фольги перпендикулярно направлению распространения УХН пропадает упругое отражение их как от поверхностного потенциала фольги, так и от флуктуаций плотности и состава ее материала, поскольку энергия УХН в движущейся системе, связанной с фольгой, намного возрастает. Таким образом, движущаяся стенка из малозахватного материала становится прозрачной и для УХН низких энергий. Этот принцип и положен в основу предлагаемого метода регистрации УХН вращающимся газоразрядным счетчиком с газовым радиатором из  $^3\text{He}$ .

### КОНСТРУКЦИЯ И УСТРОЙСТВО

Профилированный катод 1 /рис. 1/ изготовлялся из тонкостенного / $0,15 \pm 0,03$  мм/ цилиндра длиной 15 см, выточенного из алюминиевого сплава АД-1, с последующей штамповкой на специальной матрице, имеющей форму гофрированного пилообразного профиля / $\alpha = 90^\circ$ , шаг 6,1 мм/ цилиндра с наружным диаметром 7 см. Для прочности на него равномерно по длине насаживались два обода 2 из нержавеющей стали с поперечным сечением 1,5 x 1,5 мм. Катод вклеивался эпоксидной

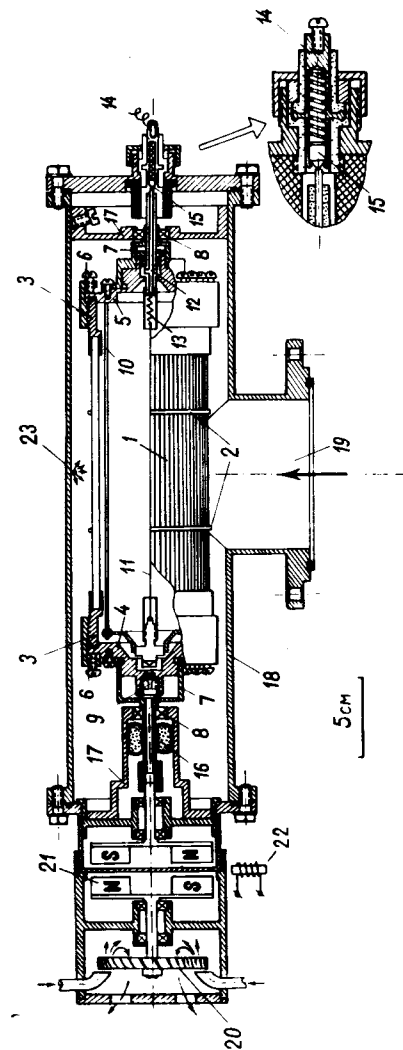


Рис. 1. Схема вращающегося пропорционального счетчика /объяснения в тексте/.

смолой в резьбовые втулки 3, на которых крепились боковые фланцы 4 и 5, прижимаемые к втулкам накладными гайками 6 и винтами. К боковым фланцам крепились оси шарикоподшипников 8, причем упругость осей была подобрана таким образом, чтобы удовлетворить условию самоцентрировки<sup>6/</sup> вращающихся деталей. Для сохранения необходимой соосности сопрягаемых деталей при вклейке катода процесс окончательной полимеризации эпоксидной смолы происходил во вращающемся состоянии. На одном из фланцев располагалась заглушка 9 вентиля наполнения счетчика, на другом - стойки 10, поддерживающие нить 11 /вольфрам,  $\phi$  25 мкм/ и электрический вывод 12 с анода-нити. Для предотвращения микрофонного эффекта, вызываемого вибрациями, нить довольно туго натягивалась пружиной 13. Электрический контакт анода с неподвижным выводным латунным электродом 14 осуществлялся через стальное острие 15, поджимаемое пружиной. Требуемую стабильность вращающегося контакта  $\Delta R/R < 10^{-7}$  катода с корпусом не удалось осуществить с помощью обычных типов скользящих контактов - графитовых щеток. Поэтому в первом варианте резистор нагрузки, RC-фильтр - развязка и предусилитель /к-500/ на микросхемах пришлось расположить непосредственно на вращающемся фланце. Впоследствии, используя контакт 16 со сравнительно большой площадью  $s \sim 2,5 \text{ см}^2$  /графитовая ткань, равномерно поджимаемая порошком к вращающемуся бронзовому цилиндру/, удалось получить необходимую стабильность контакта и отказаться от вращающихся элементов электроники. Вращающийся катод крепился на опорах 17 внутри вакуумного кожуха 18 - медной трубы  $\phi$  10 см с электрополированными внутренними стенками. Эти стенки служили отражателем для УХН, не попавших сразу на катод, который геометрически не перекрывает полное сечение входного окна 19. Вращение счетчика осуществлялось от пневматической турбины 20 с приводом в вакуум посредством магнитной муфты 21. Измерение скорости вращения проводилось с помощью расположенного у магнитной муфты индукционного датчика 22, импульсы от которого подавались на низкочастотный осциллограф. Счетчик обезгаживался при  $t \sim -120^\circ\text{C}$  в течение нескольких часов и заполнялся смесью газов: 10 *морр*  $^3\text{He}$ ; 20 *морр*  $\text{CO}_2$  и 800 *морр*  $\text{Ar}$  для задерживания в чувствительном объеме счетчика продуктов реакции  $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ . Поскольку направле-

ние движения газа вместе со счетчиком в среднем перпендикулярно направлению УХН, влетающих в счетчик, это не вызывает изменения поглощения УХН, связанного с изменением скорости поглощающего газа  $^3\text{He}$ . Счетчик работал в пропорциональном режиме с амплитудой  $\sim 5 \text{ мВ}$  при напряжении  $\sim 1 \text{ кВ}$ . На рис. 2а показан типичный амплитудный дифференциальный спектр нейтронов.

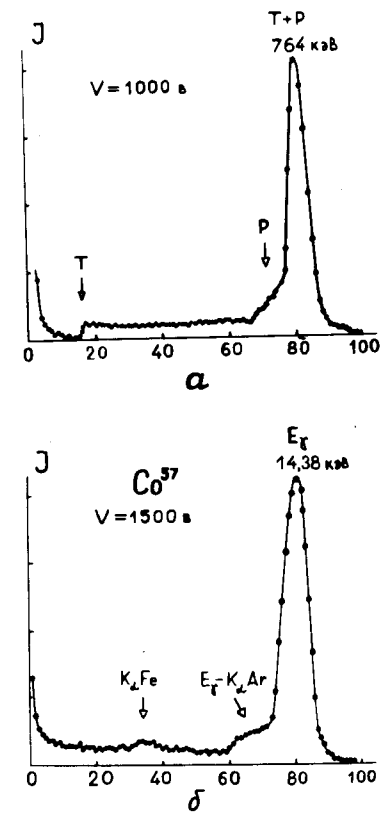


Рис.2. Амплитудные дифференциальные спектры вращающегося счетчика при : а/ регистрации нейтронов, б/ регистрации  $\gamma$ -лучей от источника  $^{57}\text{Co}$ .

Для контроля работы самого счетчика, электроники, особенно в экспериментальных условиях, когда интенсивность регистрации нейтронов очень мала, оказалось весьма полезным постоянно располагать около счетчика небольшой  $\gamma$ -источник

$^{57}\text{Co}$  /23/. Фотопоглощение на аргоне  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma = 14,38 \text{ кэВ}$  дает в амплитудном дифференциальном спектре /рис. 26/ четкий пик, а комптоновское рассеяние, незначительное пропускание  $E_{K\alpha} = 6,4 \text{ кэВ}$  стенкой счетчика и флюоресценция от нее формируют некоторую подложку, которая напоминает подложку от стеночного эффекта, вызванную протонами реакции  $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ . Таким образом, чтобы  $\gamma$ -квантами “смоделировать” регистрацию нейтронов, достаточно только увеличить коэффициент газового усиления /~ в 50 раз/, подняв напряжение на счетчике на 0,5 кВ.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Вращающийся счетчик подсоединялся к выходу нейтроновода УХН <sup>17</sup> через поворотный /вокруг его оси/ прямоугольный нейтроноводный участок, позволяющий без нарушения вакуума в нейтроноводе поднимать счетчик над уровнем нейтроновода /рис. 3/.

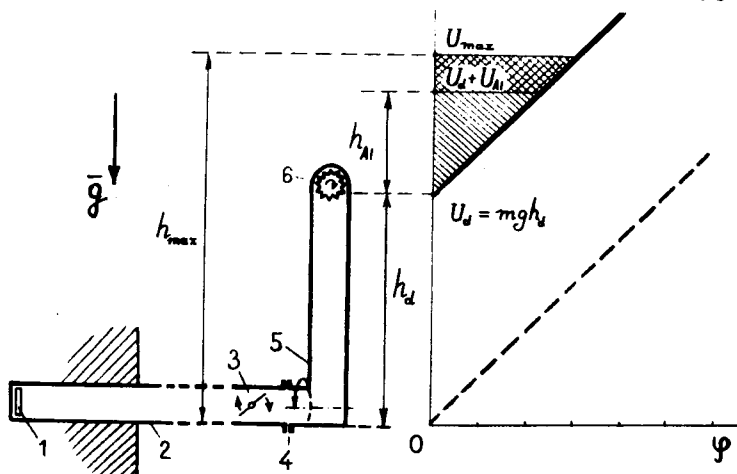


Рис.3. Схема испытания вращающегося счетчика. 1 - конвертор /источник/ УХН; 2 - нейтроновод УХН; 3 - медная шторка; 4 - вращающееся вакуумное сочленение нейтроновода; 5 - вертикальная проекция наклонного участка нейтроновода; 6 - вращающийся счетчик. Справа схематически показан “идеальный” энергетический спектр УХН - зависимость потока УХН  $\phi$  от энергии  $U$  /высоты подъема в гравитационном поле/ на уровне  $h=0$  /пунктирная линия/ и  $h_d$  /сплошная линия/.

В нейтроноводе перед этим поворотом устанавливалась медная шторка толщиной ~5 мкм, при повороте которой на  $90^\circ$  ею перекрывалось все сечение нейтроновода. Интенсивность регистрации УХН определялась по разнице в интенсивностях регистрации счетчика при открытом и закрытом /фон/ положениях шторки соответственно. Для защиты от тепловых нейтронов снаружи вакуумный корпус счетчика был обернут листовым кадмием. Основной вклад в фон /~5 с<sup>-1</sup>/ давали надкадмиевые нейтроны, дополнительная защита от которых не применялась, т.к. она весьма громоздка и неудобна при вариациях высоты счетчика. Поднимаясь на высоту  $h$ , УХН теряют в гравитационном поле кинетическую энергию на величину  $mgh$ , таким образом, на высоту установки счетчика  $h_d$  могут подняться только УХН с энергией  $E > mgh$ . Отметим, что потеря энергии УХН в  $\text{мэВ}$  численно хорошо совпадает с высотой подъема, выраженной в см /1  $\text{мэВ} = 1,02 \text{ см}$ /. Через алюминиевые стенки поднятого счетчика проходят УХН в диапазоне энергий

$$U_{\text{max}} > \Delta E_1 > U_{\text{Al}} + mgh,$$

где  $U_{\text{max}}$  - максимальная энергия спектра УХН, соответствующая граничной энергии для нейтроновода из нержавеющей стали,  $U_{\text{Al}}$  - граничная энергия для алюминиевой стенки счетчика / $U_{\text{Al}} = 52 \text{ мэВ}$ , что соответствует скорости нейтрона  $3,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ /. При достаточно быстро вращающемся счетчике диапазон энергий регистрируемых УХН расширяется:

$$U_{\text{max}} > \Delta E_2 > mgh.$$

Рис. 4 иллюстрирует существенное возрастание интенсивности регистрации УХН, вызываемое увеличением пропускания их через движущиеся стенки счетчика. Относительное увеличение интенсивности регистрации УХН зависит от высоты подъема вращающегося счетчика над уровнем нейтроновода, и определяется долей энергетического интервала  $/0 - U_{\text{Al}}/$  в спектре УХН, достигающих счетчика на высоте  $h_d$  с энергиями  $U_{\text{max}} - mgh$ . Это увеличение интенсивности регистрации УХН соответствует ожидаемому значению для реально измеренного спектра УХН на этом нейтроноводе <sup>17</sup>. Заметим, что здесь не следует придавать большого значения полученному соответствию между уве-

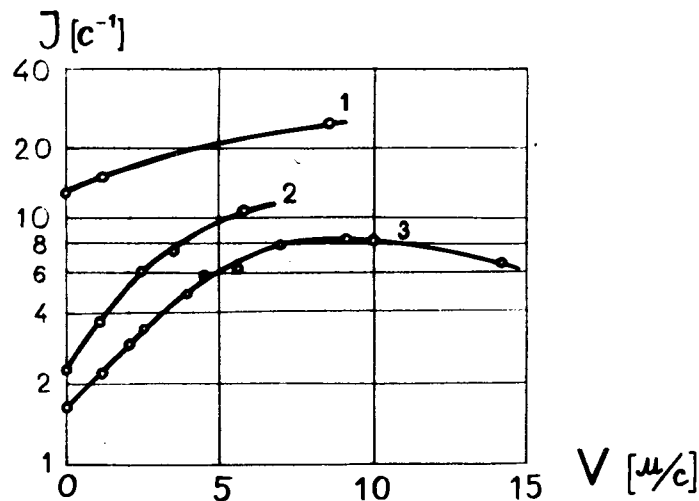


Рис.4. Зависимость интенсивности регистрации УХН  $J$  [с<sup>-1</sup>] от скорости движения катода счетчика  $V$  [м·с<sup>-1</sup>] для разных энергий УХН. Высота установки счетчика  $h_d$ : кривая 1 - 28 см; 2 - 113 см; 3 - 130 см.

личением интенсивности регистрации УХН и увеличением доли регистрируемого спектра, поскольку более строгий расчет величины этого эффекта требует более точных знаний реального спектра УХН, угловой их направленности на разных высотах, относительных поглощающих УХН способностей вертикального колена и транспортного нейтронвода и т.д. Пожалуй, более приемлемой будет постановка вопроса об измерении самого спектра с помощью детектора такого типа, у которого предварительно будет измерена зависимость эффективности регистрации от скорости УХН.

Оптимальная скорость стенки счетчика  $\sim 8$  м·с<sup>-1</sup>/определяемая преобладанием при этой скорости механизма однократного прохождения гофрированной стенки/ хорошо совпадает с расчетным и экспериментальным результатами работы <sup>15/</sup>.

## ВЫВОДЫ

Показано, что газовый <sup>3</sup>He-счетчик сдвигающимися гофрированными стенками можно применять для непосредственной ре-

гистрации УХН с энергией менее  $\sim 50$  нэВ, причем нижний энергетический порог такого счетчика определяется только процессом захвата УХН в его стенках, который не зависит от скорости движения стенок <sup>15/</sup>. Такие детекторы являются "абсолютно черными" /неотражающими/ телами для УХН. Для вышеописанной конструкции счетчика с алюминиевой стенкой толщиной  $\sim 0,15$  мм нижний энергетический порог составляет  $\sim 5 - 10$  нэВ, а если такую стенку изготовить из бериллия, то этот порог уменьшится до значения  $\sim 1$  нэВ.

Применение открытой вращающейся поверхности гофрированного радиатора /содержащего захватывающие ядра <sup>10</sup>B, <sup>6</sup>Li, <sup>235</sup>U и т.д./ с последующей любой, практически удобной в этом случае методикой регистрации вторичных заряженных частиц, позволит создать детектор нейтронов с практически несуществующим нижним энергетическим порогом.

Авторы благодарны В.А.Конксу и Е.З.Ахметову за дискуссии и помощь в эксперименте, а также М.И.Новопольцеву за внимание к этой работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шапиро Ф.Л. Нейтронные исследования, "Наука", М., 1976, с. 195.
2. Грошев Л.В. и др. ОИЯИ, РЗ-7282, Дубна, 1973.
3. Косвинцев Ю.Ю. и др. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, 3, с. 164.
4. Стрелков А.В., Хетцельт М. ЖЭТФ, 1978, 74, с. 23.
5. Stoica A.D., Streikov A.V. Nucl. Instr. and Meth., 1978, 157, p.477; ОИЯИ, РЗ-11593, Дубна, 1978.
6. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле. ОГИЗ, М., 1932.
7. Ахметов Е.З. и др. Нейтронная физика. Часть 1 /Материалы 4-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 18-22 апреля 1977 г./, ЦНИИатоминформ, М., 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 февраля 1979 года.