

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.125.5

H-749

3-88-69

НОВОПОЛЬЦЕВ

Михаил Ильич

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНАЯ
СПЕКТРОМЕТРИЯ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕМ**

Специальность 01.04.01 – экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1988

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук Ю.Н.Покотилловский

Официальные оппоненты
доктор физико-математических наук старший научный сотрудник П.А.Крупчицкий
кандидат физико-математических наук А.Д.Перекрестенко

Ведущая организация - Московский инженерно-физический институт.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 198__ г.
в _____ час. на заседании Специализированного совета Д047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 198__ г.

Ученый секретарь Специализированного совета
Ю.В.Таран

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интерес к физике нейтронов с энергией $< 10^{-7}$ эВ, называемых ультрахолодными нейтронами (УХН), определяется прежде всего возможностью выполнения с их помощью ряда фундаментальных и прикладных исследований. При этом, как правило, необходимо правильно определять спектр потока используемых нейтронов. Поскольку применение для этих целей наиболее перспективного метода спектрометрии по времени пролёта обычно ограничено из-за низкой интенсивности существующих источников УХН, то особую актуальность приобретает применение методов спектрометрии, характеризующихся большей светосилой, например корреляционного по времени пролёта. Энергетическое разрешение и надёжность работы времяпролётного спектрометра можно значительно повысить, используя вместо механического быстрый ферромагнитный прерыватель потока нейтронов.

Создание светосильного спектрометра ультрахолодных нейтронов с наноэлектронвольтным разрешением позволяет исследовать в пучковом эксперименте энергетическую зависимость коэффициента зеркального отражения УХН от поверхности веществ, например, с целью измерения амплитуд рассеяния или исследования так называемого "металлического" отражения УХН. Появится возможность более точного сравнения о теоретической потере нейтронов при хранении, а также уточнения каналов утечки УХН из ловушек, и в частности, связанного с захватом в стенках.

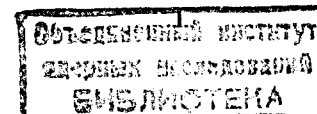
Цель настоящей работы состоит в разработке методики корреляционной времяпролётной спектрометрии ультрахолодных нейтронов и её применении для решения некоторых задач физики УХН.

Научная новизна. В процессе выполнения работы автором впервые:

- разработана методика измерений и изучена спектральная зависимость эффективности и отражательной способности различных типов детекторов УХН. Создан "всеволновой" сцинтилляционный детектор ультрахолодных нейтронов с вращающимся радиатором;

- с помощью созданного корреляционного спектрометра по времени пролёта с механическим прерывателем и наноэлектронвольтным разрешением исследована в пучковом эксперименте спектральная зависимость коэффициента отражения ультрахолодных нейтронов от поверхности веществ с большим сечением захвата;

- разработана методика и прямым методом измерена вероятность захвата УХН при подбарьерном отражении их от поверхности меди;



- измерена глубина модуляции потока УХН фольговым спин-флиппером и двумя ферромагнитными пленками на его поверхности. Разработан и осуществлен метод быстрой модуляции потока ультрахолодных нейтронов затвором на основе чередующихся ферромагнитных пленок с существенно различающимися значениями коэрцитивной силы. На основе затвора создан спектрометр и измерены времяпролётные спектры.

Практическая ценность работ. Созданный "всеволновой" детектор может быть использован для высокоэффективной регистрации без отражения ультрахолодных нейтронов широкого диапазона энергий. Разработанная для области УХН методика корреляционной времяпролётной спектрометрии с быстрым ферромагнитным прерывателем обеспечивает принципиальную возможность измерения спектров потока нейтронов с энергетическим разрешением на уровне 10^{-2} нэВ, а предложенный и осуществленный способ модуляции нейтронного потока системой ферромагнитных пленок может быть, в принципе, использован для постановки нестационарных экспериментов с ультрахолодными нейтронами. Результаты прямого измерения вероятности захвата нейтронов при подбарьерном отражении их от поверхности вещества позволяют дать однозначный ответ на ряд выдвинутых ранее гипотез, описывающих процессы утечки УХН из сосудов хранения.

Автор защищает:

- результаты разработки методики корреляционной времяпролётной спектрометрии для диапазона энергии ультрахолодных нейтронов с разрешением на уровне нескольких наноэлектронвольт;
- экспериментальную методику и результаты исследования быстрой модуляции потока УХН системой, состоящей из чередующихся слоев ферромагнитных пленок с существенно различающимися значениями коэрцитивной силы. Результаты разработки на основе таких прерывателей корреляционной времяпролётной спектрометрии ультрахолодных нейтронов;
- экспериментальную методику и результаты исследования зависимости от энергии УХН относительных вероятностей регистрации и отражения нейтронов детекторами различных типов и разработанный "всеволновой" детектор ультрахолодных нейтронов, использованный во времяпролётной спектрометрии;
- результаты экспериментов по исследованию в пучковом эксперименте спектральной зависимости коэффициента отражения УХН от поверхности кадмия-113 и гадолиния-155 ("металлическое" отражение нейтронов);
- методику и результаты прямого измерения вероятности захвата нейтронов при подбарьерном отражении их от поверхности меди.

Апробация работы. По материалам диссертации опубликовано 11 работ. Результаты исследований докладывались на сессии Академии наук СССР (январь 1986 г.), на 9 Всесоюзной школе-семинаре "Новые магнитные материалы для микроэлектроники" (Саранск, 1984 г.), на семинарах ЛНФ ОИЯИ.

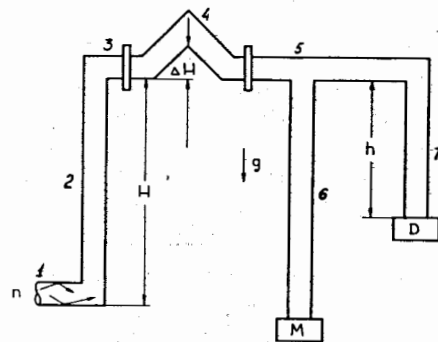
Структура и объем работ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, приложения, заключения и списка литературы, содержит 80 страниц текста, 44 рисунка и список литературы из 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определен предмет исследования, обосновывается актуальность темы, формулируются основные цели и кратко излагается структура диссертации.

Первая глава посвящена описанию разработки и оптимизации "всеволнового" детектора для времяпролётной спектрометрии ультрахолодных нейтронов.

Абсолютные спектральные исследования с помощью времяпролётной техники возможны лишь в том случае, если известна зависимость эффективности применяемого детектора от энергии нейтронов. Для измерения таких зависимостей был разработан специальный метод. Поток ультрахолодных нейтронов из экспериментального канала I (рис.1) по вертикальному нейтронному каналу 2 поступал



в горизонтальный участок 3,5, а затем попадал в монитор M и исследуемый детектор D, располагаемый на изменяемой высоте h. Разность скоростей счета детектора для горизонтального и поднятого на ΔH положения поворотного колена 4, поделенная на соответствующую разность монитора, составляла относительную эффективность исследуемого детектора в интервале энергий УХН от ϵh до $\epsilon(h+\Delta H)$, где $\epsilon = 1,02$ нэВ/см. Для пропорционального счетчика на

Рис.1. Схема устройства для измерения спектральной зависимости относительной эффективности детекторов УХН.

основе гелия-3 с алюминиевым входным окном измеренная энергетическая зависимость эффективности, как и ожидалось, была близка к расчетным значениям. Разработанный метод позволил также по изменению скорости счета монитора исследовать отражение нейтронов от детекторов.

Необходимые для времяпролётной спектрометрии требования "черноты" детектора и малой эффективной толщины его радиатора (слоя, в котором происходит взаимодействие УХН с образованием заряженных частиц), на первый взгляд, наиболее просто выполнимы в сцинтилляционных детекторах, поскольку, в принципе, возможен подбор радиатора с достаточно малой граничной энергией. Однако проведенные исследования показали, что даже при близкой к нулю граничной энергии радиаторов из гидроксидной смеси изотопов литий-6 и литий-7 эффективность регистрации УХН с уменьшением энергии последних значительно падала за счет возрастания вероятности их отражения от радиаторов. Поэтому была использована возможность эффективной регистрации УХН низких энергий за счет увеличения относительной скорости нейтронов и радиатора.

Разработанный "всеволоновой" сцинтилляционный детектор состоял из фотоумножителя и прозрачного вращающегося диска из оргстекла, одна сторона которого была покрыта радиальным пилообразным профилем с высотой зубцов несколько миллиметров. На поверхность профиля наносили сцинтиллятор (сернистый цинк, паратерфенил) и радиатор (${}^6\text{LiF}$, ${}^6\text{LiOH}$). С изменением энергии УХН эффективность созданного детектора оставалась практически постоянной, а наблюдаемая при этом стабильность скорости счета монитора подтверждала "черноту" детектора в исследуемом энергетическом интервале. Поэтому такой детектор использовали в дальнейшем во времяпролётной спектрометрии УХН.

Во второй главе описана разработка метода корреляционной спектрометрии по времени пролёта для области энергий ультрахолодных нейтронов, в результате которой был создан спектрометр с механическим дисковым прерывателем.

Начало главы посвящено рассмотрению основных типов существующих спектрометров УХН, анализу их преимуществ и недостатков. Наиболее перспективны среди них времяпролётные спектрометры, для которых, однако, характерна низкая эффективная светосила. Значительно повысить её позволяет корреляционный метод, который уже применялся для тепловых и быстрых нейтронов.

Основная идея метода заключается в том, что прерыватель в течение периода T открывается n раз в отличие от одного раза в классическом времяпролётном методе. Если модуляция потока осуществляется в соответствии со специальными бинарными псевдослучайными последовательностями A'_i максимальной длительности, состоящими из

$N = 2n + 1$ чисел, то по полученным суммарным отсчетам Z_k в канале временного анализатора легко восстанавливается исследуемый времяпролётный спектр:

$$f_k = \sum_{i=0}^{N-1} a'_{i-k} z_i - u_k, \quad (I)$$

где $K = 1, 2, 3, \dots, N$; u_k - уровень фона в канале. Поскольку преимущества корреляционного метода наиболее заметно проявляются при большом фоне и для спектров, занимающих лишь часть исследуемого энергетического диапазона, то он особенно удобен для спектрометрии УХН. Однако применение его к нейтронам нанозлектроновольтного диапазона энергий связано с рядом методических трудностей, обусловленных как специфическими свойствами таких нейтронов, так и особенностями самого метода.

Созданный корреляционный времяпролётный спектрометр состоял из механического дискового прерывателя диаметром 160 см, зеркального нейтронотода пролётной базы переменной длины, "всеволонового" детектора УХН с вращающимся гофрированным радиатором и набора различных устройств для размещения образцов в геометрии пропускания и отражения. Нейтронный поток модулировался специально обработанными металлическими пластинами толщиной 0,1 мм, закрепленными на диске в соответствии с псевдослучайной последовательностью с $N = 127$. Работой спектрометра управляла микропроцессорная система, разработанная и изготовленная в ЛНФ ОИЯИ, которая по измеренному распределению восстанавливала в соответствии с формулой (I) исследуемые времяпролётные спектры.

На реальную функцию разрешения созданного спектрометра могут оказывать влияние ряд факторов и в частности: неточная синхронизация временного анализатора с прерывателем, конечная точность изготовления и установки пластин прерывателя и их ненулевая толщина. Машинное моделирование указанных аппаратурных искажений с последующей экспериментальной проверкой формы функции разрешения с помощью альфа-частиц, имитировавших бесконечно быстрые нейтроны, показало, что по сравнению с идеальным случаем происходила лишь незначительная деформация основного пика функции, а появившиеся дополнительные аппаратурные выбросы не превышали 2-3% от его площади. Поэтому спектрометр позволял, в принципе, проводить спектральные исследования с указанной статистической точностью. Его энергетическое разрешение, например при энергии нейтронов в 70 нэВ, длине пролётной базы 1 м и ширине канала анализатора 1 мс, составляло 1 нэВ и могло быть улучшено при более длинной базе.

Возможности созданного спектрометра были продемонстрированы на примере исследования резонансной зависимости коэффициента пропускания УХН через нейтронные интерференционные фильтры и в измерениях спектров потока ультрахолодных нейтронов из экспериментальных каналов реакторов СМ-2 НИИАР им. В. И. Ленина и ИР-8 ИАЭ им. И. В. Курчатова.

Третья глава посвящена описанию экспериментов по исследованию энергетической зависимости коэффициента отражения ультрахолодных нейтронов от поверхности некоторых веществ с большим сечением захвата нейтронов.

По аналогии с оптикой для сильных поглотителей должно наблюдаться добавочное отражение нейтронов от поверхности раздела вакуум-поглощающая среда, обусловленное захватом их веществом и названное И. И. Гуревичем и П. Э. Немировским "металлическим" отражением. Его величина зависит от сечения захвата и энергии нейтронов и становится заметной для известных изотопов лишь при достаточно малых энергиях, когда длина пробега нейтрона в поглощающей среде становится сравнимой с его длиной волны.

В разработанной установке, предназначенной для измерений коэффициентов отражения нейтронов от поверхности веществ, коллимированный поток УХН отражался от зеркала из нержавеющей стали и поступал на вход времяпролётного спектрометра. В системе поддерживали вакуум на уровне 10^{-5} Торр. Поскольку практически все известные металлы на воздухе окисляются, то исследуемые вещества напыляли на поверхность зеркала непосредственно на пучке УХН. Конструкция испарителей позволяла проводить несколько последовательных испарений смесей изотопов на подложку.

Для получения достоверных результатов перед каждым испарением исследуемого вещества готовили зеркальную неотражающую нейтроны подложку из смеси $^{152}\text{Sm}_{0,4}\text{-}^{152}\text{Sm}_{0,6}$ и измеряли отражение от нее (рис. 2а). Коэффициент отражения нейтронов от поверхности сильно поглощающих изотопов кадмий-113 и гадолиний-155 приведен на рис. 2б и 2в. Там же показаны результаты расчетов с учетом резонансного поведения амплитуд рассеяния (кривые 1), для нулевой мнимой части (кривые 2), а также при наличии поверхностной окисной пленки толщиной 50 \AA (кривые 3). Результаты свидетельствуют о том, что для гадолиния-155 имеет место в чистом виде отражение нейтронов, обусловленное мнимой частью потенциала. Для кадмия-113, как и ожидалось, вклад захвата в отражение невелик, но тем не менее экспериментальные данные лучше согласовывались с расчетной кривой 1 на рис. 2б.

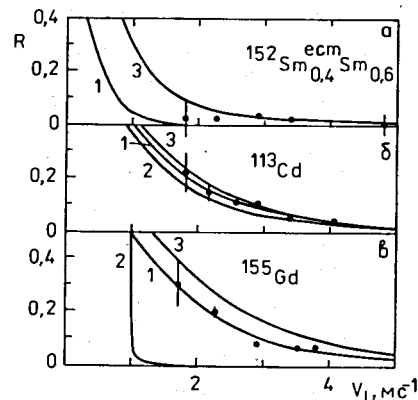


Рис. 2. Экспериментальные данные и расчетные кривые коэффициента отражения УХН от различных материалов.

В четвертой главе описаны эксперименты по измерению прямым методом вероятности захвата ультрахолодных нейтронов при подбарьерном отражении их от поверхности медных пленок различной толщины, нанесенных на поверхность стекла.

Несмотря на значительный прогресс в поисках возможных причин anomalously больших утечек УХН из ловушек полного соответствия теории с результатами эксперимента пока не достигнуто. Наиболее очевидны два возможных парциальных канала потери нейтронов при хранении: неупругое рассеяние и захват, причем первый из них уже исследовался другими авторами. Нами более подробно анализировался второй канал. Поскольку значение вероятности утечки нейтронов при их хранении существенным образом зависит от спектра хранящихся нейтронов, то при обработке результатов экспериментов использовался реальный спектр, измеренный с помощью созданного корреляционного времяпролётного спектрометра.

Для определения коэффициента потерь УХН за счет захвата их ядрами стенок сосуда хранения был использован нейтронно-активационный метод. Тонкие слои меди, термически напыленные на поверхности стеклянных (марки FLOAT) пластин, помещали в объем облучения. Облученные потоком УХН слои химически снимали и по специально разработанной технологии изготавливали тонкие образцы сульфида меди для измерения наведенной бета-активности изотопа ^{64}Cu . Созданная для этой цели малофоновая установка на основе проточного 4π -счетчика имела стабильный фон на уровне $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при эффективности $0,72 \pm 0,01$.

Для получения экспериментального значения коэффициента поглощения УХН необходима величина плотности потока нейтронов, облучающих поверхность. Определяли её методом "черного" детектора – пропорционального гелиевого счетчика с накопительной камерой перед ним и маленьким отверстием (1 см^2), ведущим в облучаемый объём. Машинное моделирование с реальным спектром потока УХН показало, что эффективность детектора составляла 77%. Угловое распределение потока в объеме облучения и спад плотности вдоль его оси контролировали специальными активационными детекторами. Они представляли собой стопки из фольг диаметром 1 см и толщиной $7,8 \text{ мг/см}^2$ каждая, изготовленных из никель-марганцевого сплава с нулевой граничной энергией. Плотность потока нейтронов определяли по величине наведенной бета-активности изотопа марганец-56. Такие детекторы позволяли одновременно в нескольких точках объема контролировать плотность, практически не нарушая распределения потока УХН.

Результаты измерения зависимости коэффициента поглощения ультрахолодных нейтронов ядрами ^{63}Cu от толщины напыленного слоя меди показаны на рис. 3. Там же приведены рассчитанные кривые для реального спектра потока УХН при различных толщинах окисной плёнки на поверхности слоя и аппроксимация по МНК к результатам эксперимента (верхняя кривая). Толщина окисной плёнки исследуемых образцов, измеренная методом оже-электронной спектроскопии В.А. Степанчиковым, не превышала 15 \AA . Для таких окисных слоев превышение экспериментальных результатов над рассчитанными составило $1,27 \pm 0,06$ и полностью объяснялось шероховатостью поверхности напыленного медного слоя.

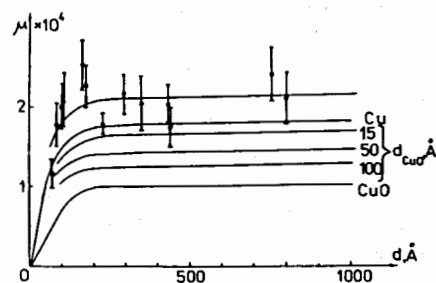


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные коэффициенты поглощения УХН при отражении от поверхности меди в зависимости от толщины слоя меди и окиси на его поверхности.

Следовательно, аномалии в механизме утечки ультрахолодных нейтронов из ловушек, обусловленном захватом их ядрами стенок, не обнаружено.

Из рис. 3 следует также, что наблюдавшаяся в эксперименте глубина проникновения УХН в вещество при зеркальном отражении соответствовала расчетным данным.

Пятая глава посвящена разработке магнитных методов быстрой модуляции потока ультрахолодных нейтронов и применению созданных прерывателей с ферромагнитными плёнками в корреляционной спектроскопии по времени пролёта.

Поскольку механические модуляторы спектрометров обладают рядом недостатков, то были разработаны магнитные прерыватели, которые более компактны, удобно синхронизируются с временными анализаторами и перестраиваются на различное число каналов, обладают повышенным быстродействием, а также легко переключаются с обычной времяпролётной спектроскопии на корреляционную. Принцип их действия основан на отражении УХН от магнитного потенциального барьера $V = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$, дополняющего ядерный и создаваемого взаимодействием их магнитного момента $\vec{\mu}$ с магнитным полем в веществе с индукцией \vec{B} .

Экспериментально исследованный прерыватель неполяризованного потока УХН состоял из двух ферромагнитных пленок ($\text{Ni}_{0,5} - \text{Fe}_{0,5}$) толщиной 3 мкм и фольгового алюминиевого спин-флиппера между ними. При пропускании тока через фольгу магнитные плёнки противоположно намагничивались и нейтронный поток должен был перекрываться. Открытое состояние создавали, намагничивая внешним полем обе плёнки в одном направлении. Однако, в эксперименте глубина модуляции (отношение скорости счета нейтронов в открытом и закрытом состоянии) даже вблизи оси спин-флиппера, где практически полностью соблюдалось для нейтронов условие неадиабатического прохождения, составила лишь $5,0 \pm 0,6$. Это могло быть связано с неполной поляризацией УХН при прохождении через каждую ферромагнитную пленку. Применение такого модулятора во времяпролётной спектроскопии неперспективно, поскольку сравнительно большая толщина фольги спин-флиппера ($0,75 \text{ мм}$) ограничивала быстродействие прерывателя и ослабляла падающий нейтронный поток. Поэтому был разработан и изучен бесфольговый прерыватель, который состоял из системы чередующихся ферромагнитных пленок двух сортов с сильно различающимися значениями коэрцитивных сил. При намагничивании всех пленок в одном направлении реализуется открытое состояние прерывателя. Перемагничивая систему, можно достичь такого состояния, когда пленки с меньшим значением коэрцитивной силы уже перемагничивались, а с большим – еще сохраняли прежнее направление намагниченности. Если при этом пленки обладали 100% поляризующей способностью и в пространстве между ними соблюдалось условие неадиабатического прохождения, то нейтронный поток должен полностью перекрываться.

Экспериментальная проверка предложенного принципа модуляции потока УХН была проведена на прокатанных фольгах пермаллоя ($Ni_{0,5}-Fe_{0,5}$) толщиной 3 мкм с коэрцитивными силами 13 и 3 Э. Глубина модуляции в интервале энергий УХН 130÷170 нэВ составила $2,9 \pm 0,1$ и $12,5 \pm 3,0$ для двух- и четырехслойной систем соответственно. Поскольку исследуемый модулятор в открытом состоянии в несколько раз ослаблял нейтронный поток, то были созданы прерыватели, состоящие из термически напыленных на кремниевые пластины пленок толщиной 1000÷2000 Å. "Магнитожесткие" и "магнитомягкие" слои изготавливали вначале из ^{54}Fe и $^{60}Ni_{0,5}-^{54}Fe_{0,5}$, а затем из изотопных смесей $^{54}Fe_{0,4}-^{54}Fe_{0,6}$ и $^{60}Ni_{0,5}-^{54}Fe_{0,5}$ соответственно. Между ферромагнитными слоями наносили кремниевые прослойки толщиной 2000 Å, предотвращавшие появление переходной области, в которой возможен адиабатический поворот спина нейтрона. Измеренные кривые пропускания нейтронов двух- и четырехслойной (по числу ферромагнитных слоев) системой пленок из указанной выше смеси изотопов для интервала энергий УХН от 55 до 190 нэВ показаны на рис. 4. Глубина модуляции составила соответственно $3,7 \pm 0,3$ и $13,7 \pm 1,3$, а ослабление потока за счет несовершенства четырехслойного прерывателя — $0,73 \pm 0,03$. Поскольку при переходе от двух к четырем магнитным слоям скорость счета детектора в открытом состоянии практически не изменялась, то в перспективе возможно получение более высоких значений глубины модуляции путем увеличения числа напыленных слоев.

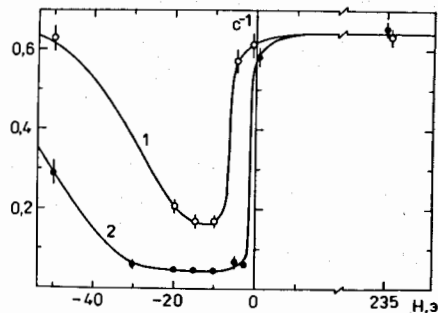


Рис. 4. Кривые пропускания УХН двухслойным (1) и четырехслойным (2) ферромагнитным тонкопленочным прерывателем.

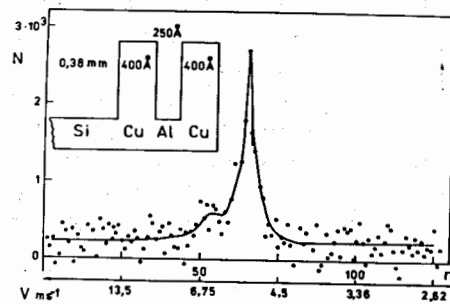


Рис. 5. Спектр по времени пролёта нейтронов, прошедших через интерференционный фильтр, измеренный корреляционным спектрометром с тонкопленочным ферромагнитным прерывателем (потенциальная схема фильтра показана на вставке).

Созданный четырехслойный прерыватель был использован для время-пролётной корреляционной спектрометрии ультрахолодных нейтронов. Стационарное поле, запирающее прерыватель, составляло 10 Э. Импульсное поле напряженностью 20 Э управлялось генератором псевдослучайной последовательности из 127 элементов с периодом 0,4 с, оно переводило прерыватель в открытое состояние. Нейтроны регистрировали "всеволновым" детектором. Полученный спектр по времени пролёта УХН, прошедших через интерференционный фильтр, при длине пролёта базы 106 см показан на рис. 5. Форма спектра соответствовала расчетам и результатам измерения на спектрометре с механическим прерывателем.

Поскольку быстроедействие разработанного магнитного прерывателя определялось практически только временем прохождения нейтронов сквозь него, то, в принципе, при метровой базе достижимо энергетическое разрешение на уровне 10^{-11} нэВ, ограничиваемое лишь соотношением неопределённостей.

В приложении рассмотрена возможность увеличения плотности ультрахолодных нейтронов в ловушках на импульсных нейтронных источниках путем применения в качестве входных окон быстрых ферромагнитных прерывателей. Предложены две конструкции конверторов с разветвленной поверхностью: цилиндрическая и прямоугольная. Результаты численного изучения накопителей двух типов для импульсного реактора ИБР-2 показали, что для получения достаточно больших коэффициентов выигрыша необходимы прерыватели с экстремальными свойствами.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты работы.

I. Впервые реализована корреляционная времяпролётная методика измерения энергетических спектров в области ультрахолодных нейтронов и создан спектрометр с механическим прерывателем, позволивший измерять спектры потока нейтронов с разрешением ~ 1 нэВ. Для этого:

- впервые разработан для диапазона энергии УХН "всеволновой" сцинтилляционный детектор нейтронов;
- впервые разработана методика измерения спектральной зависимости эффективности и отражательной способности детекторов УХН, на основе которой изучены спектральные характеристики детекторов различных типов;
- численно изучены возможные аппаратные искажения функции разрешения созданного спектрометра;
- продемонстрированы возможности и преимущества созданного спектрометра на примерах исследования спектров потоков УХН из экспериментальных каналов и после прихождения нейтронами интерференционных фильтров.

2. Исследована возможность применения в корреляционной времяпролётной спектрометрии УХН прерывателей потока нейтронов немеханического типа. При этом:

– впервые экспериментально изучена модуляция потока ультрахолодных нейтронов прерывателем, состоящим из фольгового спин-флиппера и двух ферромагнитных пленок на его поверхности;

– реализован и экспериментально исследован новый метод прерывания нейтронного потока системой чередующихся ферромагнитных пленок с существенно различающимися значениями коэрцитивной силы. Созданные многослойные ферромагнитные модуляторы испытаны в статическом и динамическом режимах, и продемонстрировано, что они могут быть использованы в корреляционной времяпролётной спектрометрии ультрахолодных нейтронов сверхвысокого разрешения.

3. С помощью созданного спектрометра УХН с механическим прерывателем:

– изучена в пучковом эксперименте спектральная зависимость коэффициента отражения УХН от поверхности веществ с большим сечением захвата (кадмий-113, гадолиний-155),

– впервые прямым методом измерена вероятность захвата УХН при подбарьерном отражении их от поверхности меди и глубина проникновения нейтронов в вещество при зеркальном отражении. В процессе исследований предложен и разработан метод одновременного многоточечного измерения распределения плотности потока УХН активационным детектором с чувствительностью на уровне 10^{-2} н/см²с.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Прерывание потока ультрахолодных нейтронов перемагничиваемыми ферромагнитными пленками. – Дубна, 1978, – 8с. (Сообщение/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-11986).
2. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Многослойный ферромагнитный затвор для ультрахолодных нейтронов. – Письма в ЖТФ, 1979, т.5, вып. 19, с. 1181-1184.
3. Novopol'tsev M.I., Pokotilovskii Yu.N. Optimization of ultra-cold neutron scintillation detectors. – Nucl.Instr.Meth., 1980, v.171, p.497-502.
4. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Расчет импульсных накопителей ультрахолодных нейтронов с ферромагнитными затворами. – Дубна, 1980, – с.13. (Сообщение/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-80-398).
5. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Корреляционный спектрометр ультрахолодных нейтронов. – Дубна, 1981, – с.10. (Сообщение/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-81-828).

6. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Быстрое прерывание потока ультрахолодных нейтронов с помощью тонкого ферромагнитного затвора. – ЖТФ, 1982, т.52, вып. 6, с. 1243-1244.
 7. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н., Шелкова И.Г. Исследование модуляции потока ультрахолодных нейтронов железопермаллоевыми пленочными системами. – Новые магнитные материалы для микроэлектроники: тезисы докладов, Морд.ун-т, Саранск, 1984, с.166.
 8. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н., Шелкова И.Г. Модуляция потока ультрахолодных нейтронов с помощью тонкопленочного ферромагнитного затвора. – ПТЭ, 1985, № 4, с.31-33.
 9. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Активационные эксперименты с ультрахолодными нейтронами. Измерение коэффициента поглощения нейтронов при подбарьерном отражении от поверхности меди. – Дубна, 1985, – с.11. (Сообщение/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-85-843).
 10. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Измерение отражения ультрахолодных нейтронов от поверхности веществ с большим сечением захвата. – Дубна, 1987, – с.7. (Сообщение/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-87-408).
- Морозов В.И., Новопольцев М.И., Панин Ю.Н., Покотилковский Ю.Н., Рогов Е.В. – Письма в ЖТФ, 1987, т.46, вып.8, с.301-303.
11. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н., Шелкова И.Г. Времяпролётная спектрометрия ультрахолодных нейтронов на основе тонкопленочного ферромагнитного прерывателя. – Дубна, 1987, – с.6. (Препринт/Объед.ин-т ядер.исслед.: РЗ-87-578).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 января 1988 года.