

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-130

P13-99-130

Ю.Г.Абов<sup>1</sup>, В.П.Алфименков, Е.М.Галинский,  
Л.Ласонь<sup>2</sup>, Ю.Д.Мареев, В.В.Новицкий, Л.Б.Пикельнер,  
В.М.Цулая<sup>3</sup>, М.И.Цулая<sup>3</sup>, А.Н.Черников

## СПЕКТРОМЕТР ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

<sup>1</sup>ИТЭФ, Москва

<sup>2</sup>Лодзинский университет, Польша

<sup>3</sup>Институт физики АН Грузии, Тбилиси

## Введение

В ОИЯИ на импульсном реакторе ИБР-2 [1] создан спектрометр поляризованных нейтронов, являющийся частью установки «Колхида», предназначенной для исследования нейтронно-оптических явлений при взаимодействии поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами. В частности, планируются исследования ядерной прецессии нейтронов в широком диапазоне энергий от тепловых до области нейтронных резонансов, а также исследование свойств магнетиков с помощью поляризованных нейтронов.

При создании спектрометра поляризованных нейтронов использованы узлы установки поляризованных нейтронов Института физики АН Грузии [2], предназначавшейся для экспериментов на стационарном реакторе в Тбилиси.

В настоящей работе описана конструкция и даны основные параметры спектрометра.

## Конструкция установки

Спектрометр поляризованных нейтронов расположен на тангенциальном канале №1 импульсного реактора ИБР-2. Общая схема спектрометра изображена на рис.1.

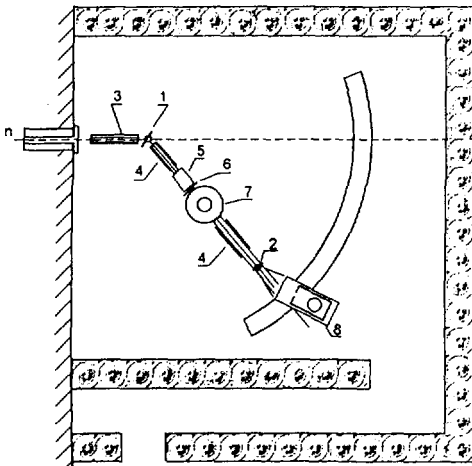


Рис.1. Общая схема спектрометра. Объяснения даны в тексте

Формирование спектра первичных нейтронов осуществляется в замедлителе. Нейтроны, выходящие из замедлителя, проходят в биологической защите через канал, в котором помещен первичный коллиматор с площадью окна 40x40 мм. В экспериментальном зале перед поляризатором помещен соллеровский коллиматор 3 с площадью окна 50x60 мм, длиной 65 см, толщиной пластин 1 мм и зазором между пластинами 2 мм.

Для поляризации и анализа поляризации нейтронов используются монокристаллы Co(92%)-Fe(8%), толщиной 3 мм, площадью соответственно 34x34 мм и 35x53 мм. В условиях дифракции Лауэ отражающие плоскости (200), обеспечивающие максимальную поляризацию, перпендикулярны поверхности кристаллов, а намагничивание происходит вдоль направления [110]. Кристаллы были выращены и обработаны в Институте ядерных исследований (Польша). Для выбранных отражающих плоскостей  $2d=3,545 \text{ \AA}$ .

Кристаллы поляризатора 1 и анализатора 2 установлены между полюсами магнитов с вертикально направленными полями напряженностью 0,4 Т. Для сохранения поляризации нейтронов между поляризатором и анализатором установлены электромагниты ведущего поля 4 напряженностью  $5 \cdot 10^{-3} \text{ Т}$ , а также шим с дистанционным управлением 6 и флиппер Мезеи 5 для измерения и реверса поляризации.

Спектрометр смонтирован на металлической опоре, по которой движется массивное плечо. Ось, вокруг которой вращается плечо, совпадает с осью вращения поляризатора. На плече установлены следующие узлы: магниты ведущих полей, флиппер Мезеи, опора для криостата 7, анализатор с магнитом, платформа для детектора нейтронов 8. На установке обеспечивается вращение и измерение поворотов вокруг вертикальных осей кристаллов поляризатора и анализатора, плеча и платформы с детектором. Ось вращения последней совпадает с осью вращения анализатора. Все вращения независимы друг от друга и позволяют устанавливать углы с точностью около 1 минуты.

Детектором нейтронов служит счетчик СММ-17, наполненный  $^3\text{He}$  до давления 7 атмосфер. Вертикально расположенный счетчик помещен в домик из борированного полиэтилена, выложенный внутри кадмием для уменьшения фона. Входное окно на детектор имеет размер 10 мм по горизонтали и высоту 50 мм. Монитором служит камера деления с  $^{235}\text{U}$  RM-70 производства ИЯИ (Польша). Толщина слоя урана составляет  $100 \text{ мкг/см}^2$ .

Для управления установкой и регистрации спектров нейтронов по времени пролета создан модуль на основе РС с процессором Pentium 166 MHz и блоков КАМАК. Модуль позволяет управлять вращением названных элементов, устанавливать заданные углы и высвечивать их величину на дисплее. Предусмотрен автоматический режим сканирования по углам. Показания детектора нейтронов регистрируются в виде спектра по времени пролета.

Пролетное расстояние от замедлителя на зоне реактора до детектора составляет 15,9 м и включает в себя следующие расстояния: замедлитель – поляризатор 12,4 м, поляризатор – анализатор 2,5 м и анализатор – детектор 1,0 м.

Для спектрометра построена биологическая защита из бетонных блоков. Доступ к установке через лабиринт.

Импульсный режим работы реактора ИБР-2 характеризуется следующими параметрами: частота импульсов  $5 \text{ с}^{-1}$ , полуширина импульса быстрых нейтронов – 215 мкс, мощность – 1,5 МВт.

### **Параметры пучков нейтронов**

Интенсивность и энергетический спектр первичного пучка нейтронов, падающих на поляризатор, были измерены с помощью камеры деления RM-70. Камера была закрыта кадмием, что позволяло определить фон, а затем на переднем торце камеры открывалось окно диаметром 1 см. В результате были получены данные об интенсивности и спектре нейтронов в интервале энергий от 10 до 200 мэВ. Камера была установлена на пролетном расстоянии 13,5 м, и все отмеченные выше коллиматоры ограничивали пучок.

Поток нейтронов в указанном интервале энергий составлял  $1,0 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>с. На рис. 2 показан энергетический спектр, измеренный методом времени пролета с урановой камерой.

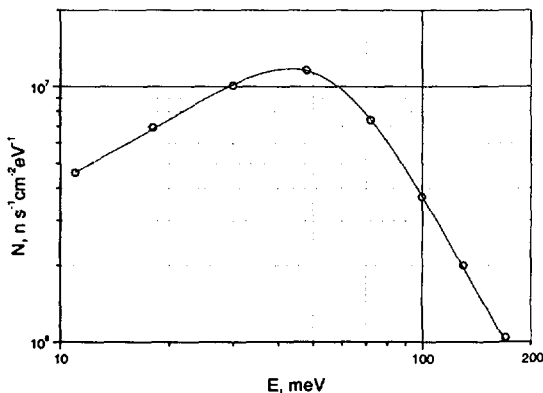


Рис. 2. Зависимость от энергии потока нейтронов, падающих на поляризатор

Согласно условию Брэгга – Вульфа

$$n\lambda = 2d \sin \theta. \quad (1)$$

Для монокристалла Co-Fe в геометрии Лауэ проводилось измерение дифракции нейтронов для различных углов  $\theta$  падения нейтронов на плоскость (200) в диапазоне от  $3^\circ$  до  $19^\circ$ . В таблице приведены значения углов  $\theta$ , для которых проведены измерения, и соответствующие им длины волн и энергии нейтронов. При измерении дифракции на кристалле-поляризаторе детектор устанавливался на оси плеча спектрометра так, чтобы его окно смотрело на кристалл. В результате сканирования угла  $\theta$  находился максимум отраженного пучка. Скорость счета детектора  $n_1$  и интенсивность  $I_1$ , учитывающая эффективность детектора и площадь отраженного пучка ( $S \cong 4 \text{ см}^2$ ), приведены в таблице.

**Таблица**

**Параметры пучка поляризованных нейтронов**

Угол $\theta$ (град)	19	12	6	4	3
Длина волны $\lambda$ (Å)	1,15	0,74	0,37	0,25	0,19
Энергия $E_n$ (эВ)	0,062	0,15	0,60	1,3	2,3
Скорость счета детектора после поляризатора $n_1$ (с <sup>-1</sup> )	800	270	65	33	22
Интенсивность поляризованного пучка $I_1$ (н/с см <sup>2</sup> )	430	200	80	60	50
Скорость счета детектора после анализа $n_2$ (с <sup>-1</sup> )	70	23	3,1	0,6	0,2

На рис. 3 показаны спектры по времени пролета, полученные при  $\theta=19^\circ$  (внизу) и  $\theta=6^\circ$  (вверху). Ширина канала временного анализатора 32 мкс,  $t$  – номер канала. Стрелка 1 указывает положение вспышки реактора, стрелка 2 – дифракционный пик первого порядка и стрелка 3 – пик отражения второго порядка ( $l=2$  в выражении (1)). Время измерения для обоих спектров 10 минут. При измерении спектра для  $\theta=19^\circ$  мгновенная загрузка детектора была очень большой, поэтому дифрагированный от кристалла-поляризатора пучок был подавлен в 10 раз с помощью фильтра. На рис. 3 приведен такой ослабленный пик. В остальных измерениях такое подавление не требовалось.

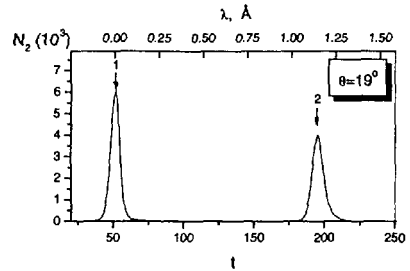
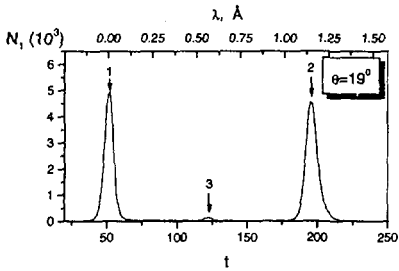
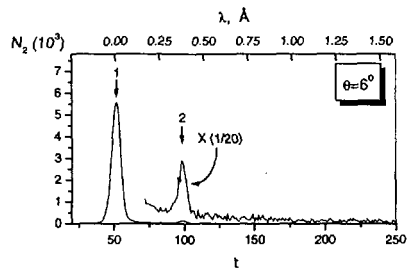
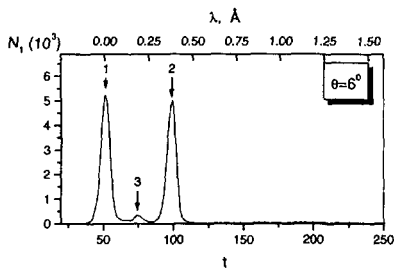


Рис.3. Времяпролетные спектры нейтронов после поляризатора, полученные за 10 минут измерений

Рис.4. Времяпролетные спектры нейтронов после анализатора, полученные за 10 минут измерений

Для получения пучка поляризованных нейтронов и анализа поляризации на кристаллы накладывалось магнитное поле и измерялась интенсивность пучка, отраженного кристаллом-анализатором. Временные спектры для тех же углов  $\theta=19^\circ$  и  $6^\circ$  после отражения от кристалла-анализатора показаны на рис. 4, а в таблице приведены значения  $n_2$  – скорость счета детектора после отражения от второго кристалла. Для измерения поляризации пучка нейтронов  $P_1$  и поляризующей эффективности анализатора  $P_2$  использовались методы шима и флиппера [3], а также метод двух преобразователей [4]. В качестве шима была использована пластинка трансформаторного железа толщиной 0,3 мм, полностью деполаризующая пучок. Последнее было проверено путем измерения с несколькими пластинами железа разной толщины. Поляризация определялась в соответствии с выражением

$$P_1 P_2 = R - 1, \quad (2)$$

где  $R$  – шимовое отношение интенсивностей пучка нейтронов после анализатора без шима и с шимом.

Для реверса поляризации нами использовался флиппер Мезен, в котором за счет комбинации вертикального и горизонтального магнитных полей происходит переворот спинов нейтронов. При измерении с флиппером используется выражение

$$P_1 P_2 = \frac{R - 1}{(2k - 1)R + 1}. \quad (3)$$

Здесь  $R$  – отношение интенсивностей пучка нейтронов после анализатора без флиппера и с флиппером,  $k$  – эффективность флиппера.

В результате измерений с флиппером при наилучшем соотношении магнитных полей было получено при  $k=1$  значение  $P_1 P_2$ , совпадающее с измеренным с шимом, т.е. показано, что флиппер полностью переворачивает спины нейтронов. Это было подтверждено и при использовании шима и флиппера одновременно.

В нашей установке поляризатором и анализатором служили одинаковые кристаллы, поэтому можно положить  $P_1 = P_2$  и получить величину поляризации пучка нейтронов  $P$ .

Следует отметить, что величина  $R$  зависит еще и от возможных потерь поляризации на пути от поляризатора до анализатора. Именно с этим связан тот факт, что измеренная нами поляризация в разных экспериментах лежала в пределах от  $P=0,90$  до  $P=0,98$  в зависимости от коллимации пучка в ведущих магнитных полях. Поляризация измерялась при углах  $\theta$  от  $19^\circ$  до  $3^\circ$ , что соответствовало энергии нейтронов от  $0,062$  до  $2,3$  эВ, и при всех энергиях лежала в этих пределах. После измерения поляризации была измерена её зависимость от магнитного поля, наложенного на поляризатор. Результаты пока-



заны на рис. 5, откуда видно, что поле 0,4 Т достаточно для получения полной намагниченности кристалла и максимальной поляризации нейтронов.

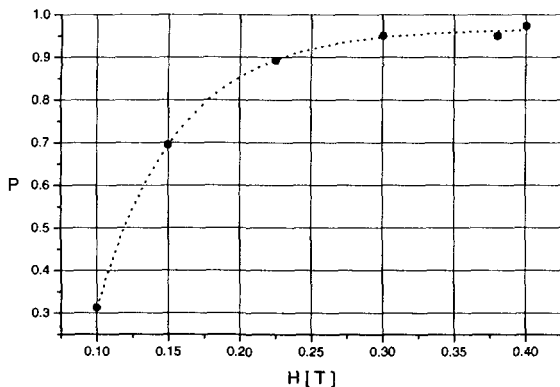


Рис. 5. Зависимость поляризации  $P$  пучка нейтронов от величины магнитного поля  $H$  на поляризаторе

### Заключение

В заключении можно констатировать, что создана установка, которая может быть использована во многих экспериментах, где необходимы поляризованные нейтроны в широком диапазоне энергий.

Мы благодарим Андросова А.В., Ермакова В.А., Неговелова С.И., Родионова Б.А., Саламатина И.М., Сиротина А.П., оказавшим большую помощь в создании установки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №98-02-17708, гранта МНТЦ №608-97 и направления «Нейтронные исследования» ГНТИ «Актуальные направления в физике конденсированных сред».

### Литература

1. Ананьев В.Д., Блохинцев Д.И., Булкин Ю.М. и др. – ПТЭ, 5, 1977, стр. 17.

2. Tsulaya M.I., Gabelya M.S., Djampishvili S.I. et al – Nucl. Instr. Meth., 1981, **185**, p. 497-504.
3. Абов Ю.Г., Гулько А.Д., Крупчицкий П.А. – *Поляризованные медленные нейтроны*, М: Атомиздат, 1966.
4. Цулая М.И., Габелия М.С., Джамаспишвили С.И. – ПТЭ, 1991, **1**, с. 69-72.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 апреля 1999 года.