

СПЕКТРОМЕТР УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

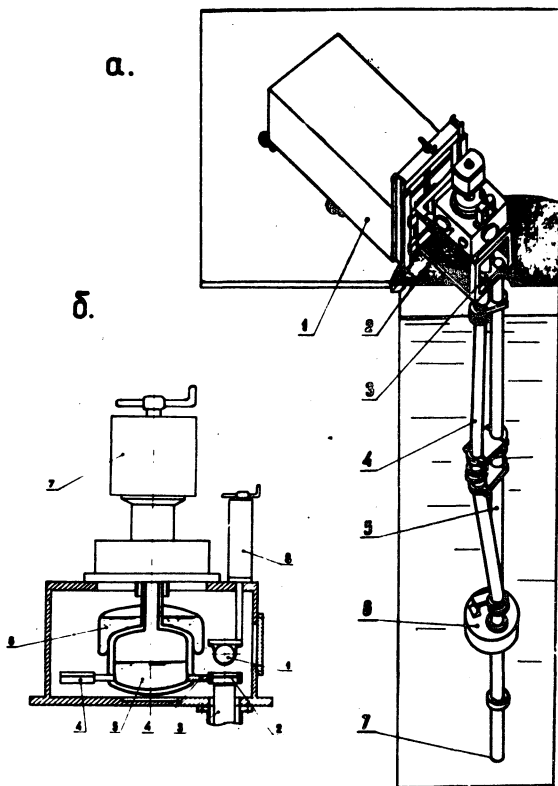
А. В. Антонов, А. И. Исаков, И. В. Мешков, А. Д. Перекрестенко,
А. А. Тихомиров

УДК 539.125.162.2

Описана установка для спектрометрии очень холодных и ультрахолодных нейтронов в интервале энергий $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ эВ + 10^{-9} эВ.

В последнее десятилетие интенсивно развивается физика очень холодных и ультрахолодных нейтронов, т.е. нейтронов в интервале энергий 10^{-4} эВ + 10^{-9} эВ. Эти нейтроны нашли применение для решения некоторых фундаментальных задач современной физики. Одной из таких задач в физике очень холодных и ультрахолодных нейтронов является изучение взаимодействия нейтронов с различными веществами при малых значениях энергий. В связи с этим авторами создана установка "спектрометр УХН" для спектрометрии нейтронов в интервале энергий $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ эВ + 10^{-9} эВ, что соответствует скорости нейтронов ~ 100 м/сек + 1 м/сек с разрешением по энергии $\sim 20\%$. Установка смонтирована на одном из вертикальных каналов реактора МИФИ ИРТ-2000. В разработанной установке получение нейтронов малых энергий осуществляется при замедлении в поле гравитации нейтронов более высоких энергий. Спектрометрия нейтронов осуществляется по методу времени пролета.

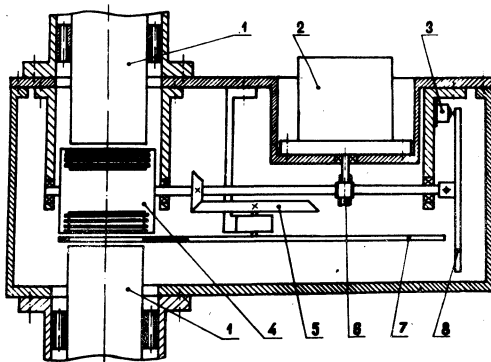
На рис. 1а показан общий вид спектрометра. Одним из основных его элементов является 8-метровый вертикальный нейтронпровод. Нейтронпровод представляет собой электрополированную трубу из нержавеющей стали внутренним диаметром 52 мм. Труба помещена в защитный чехол из алюминиевого сплава. Для подавления нейтронного и γ -фона нейтронпровод изогнут под углом $\alpha = 3^\circ$ в двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях. В нижней части нейтронпровода, расположенной в центре активной зоны реактора (поток $\Phi \approx 1 \cdot 10^{13}$ н/см²с), находится бериллиевый конвертор толщиной 5 мм, являющийся-



Р и с. I. а) Спектрометр ультрахолодных нейтронов: 1 - противовес, 2 - камера-криостат, 3 - шибер, 4 - нейтроновод, 5 - несущая труба, 6 - прерыватель потока нейтронов, 7 - конвертор.

б) Камера-криостат: 1 - счетчик, 2 - образец, 3 - нейтроновод, 4 - держатель образца, 5 - гелиевая ванна, 6 - азотная рубашка, 7 - система подъема криостата, 8 - система подъема счетчика

ся источником очень холодных нейтронов. На расстоянии двух метров от конвертора размещен вращающийся цилиндрический прерыватель потока нейтронов (рис. 2). Прерыватель состоит из стального цилиндрического ротора, в вырезе которого на расстоянии 3,5 мм



Р и с. 2. Прерыватель потока нейтронов: 1 - нейтронотвод, 2 - асинхронный двигатель, 3 - электромагнитная головка, 4 - цилиндрический прерыватель, 5 - коническая зубчатая передача, 6 - червячная пара, 7 - кадмиевый прерыватель, 8 - диск с магнитной меткой.

друг от друга установлены параллельно его оси тринадцать полированных борированных стеклянных пластин (толщина 1 мм, максимальная длина - 75 мм, ширина - 54 мм).

Известно, что критический угол скольжения нейтронов, в пренебрежении магнитным рассеянием, выражается формулой:

$$\varphi_{кр} = \lambda \sqrt{N b_{ког} / \pi}, \quad (I)$$

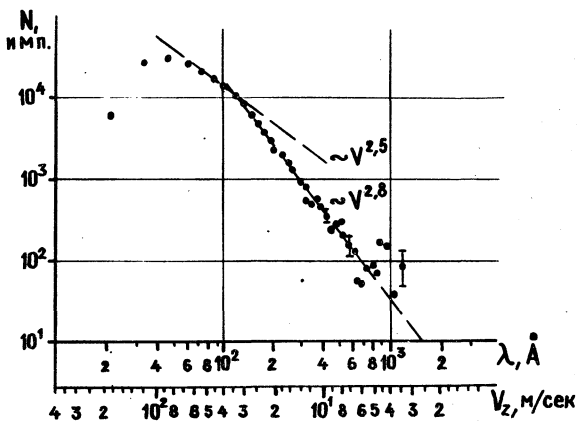
где λ - длина волны нейтрона, N - число ядер вещества отражателя в единице объема, $b_{ког}$ - положительная амплитуда когерентного рассеяния на закрепленном ядре. Отсюда следует, что время, в течение которого через прерыватель могут проходить нейтроны, зависит от их скорости и увеличивается с возрастанием λ . Во избежание наложения во времени импульсов от нейтронов, прошедших че-

рез прерыватель при его последовательных срабатываниях, необходимо, чтобы интервал времени между ними был бы больше

$$t = -\frac{v_z}{g} + \left[\left(\frac{v_z}{g} \right)^2 + \frac{2l}{g} \right]^{1/2}. \quad (2)$$

В этой формуле l — пролетная база, v_z — наименьшая скорость регистрируемых нейтронов. В нашем случае, когда $v_z = 1$ м/с и $l = 6$ м, $t = 1,009$ с. Увеличение интервала времени между последовательными открываниями прерывателя путем существенного уменьшения частоты вращения его цилиндрического ротора нецелесообразно, так как при этом возрастает длительность нейтронной вспышки, т.е. времени, в течение которого прерыватель пропускает нейтроны, и разрешающая способность спектрометра падает. Поэтому для увеличения времени между последовательными вспышками нейтронов в установке использовался добавочный прерыватель потока нейтронов в виде снабженного окошком кадмированного диска, который вращался с частотой в 3 раза меньшей, чем цилиндрический ротор, и в 6 раз уменьшал частоту следования нейтронных вспышек. Оба прерывателя были соединены друг с другом посредством конической зубчатой передачи, а через червячную пару — с асинхронным двигателем КД-50-У4. Так как блок прерывателя размещается сравнительно близко от активной зоны реактора, то на все трущиеся детали прерывателя была нанесена специальная твердая смазка. На валу цилиндрического ротора прерывателя был размещен диск с магнитной меткой. При прохождении ее мимо неподвижной электромагнитной головки в последней вырабатывался сигнал, служивший для синхронизации момента открывания прерывателя с запуском многоканального временного анализатора импульсов (АИ-4096), который использовался для анализа сигналов, поступающих от нейтронного детектора спектрометра. Камеракриостат (рис. 1б) с детектором нейтронов и исследуемыми образцами находилась в верхней части установки. Несколько ниже ее на нейтронноводе спектрометра был размещен счетчик-монитор. Верхняя часть установки от нижней (содержащей прерыватель потока нейтронов и конвертор) была отделена с помощью вакуумного шибера. Установка могла откачиваться до давления $\sim 10^{-4} + 10^{-5}$ тор с помощью безмасляной вакуумной системы, состоящей из двух цеолитовых и магниторазрядного насоса марки НОРД-250.

Для регистрации нейтронов использовались специальные пропорциональные счетчики диаметром 32 мм с окнами из алюминия размером 51 мм x 17 мм с наполнением He^3 и с добавкой Δt . Для получения более высокой эффективности регистрации для определенного интер-



Р и с. 3. Нейтронный спектр (время набора 180 мин)

вала энергий нейтронов в установке могли использоваться счетчики с разными давлениями He^3 (от 5 мм.рт.ст до 160 мм.рт.ст).

Разрешающая способность спектрометра рассчитывалась по формуле

$$\frac{\delta v_z}{v_z} = \left(\frac{1}{t^2} + \frac{g}{2} \right) \frac{\Delta t}{v_z}, \quad (3)$$

где l - пролетная база, t - время пролета, определяемое из формулы (2), Δt - время открывания прерывателя, v_z - вертикальная составляющая скорости нейтрона. В установке использовалась специальная электронная схема, позволявшая изменять частоту вращения двигателя КД-50-У4 и, следовательно, варьировать разрешающую способность спектрометра (в пределах от 5% до 20%).

Спектрометр рассчитан таким образом, что при частоте питания двигателя в 50 Гц интервал между последовательными открываниями прерывателя составляет 1,2 с. Максимальное время пролета, соот-

ветствующее нейтронам, достигающим детектора со скоростью 1 м/с, равно 1,009 с. Таким образом, $\approx 14\%$ экспериментального времени используется для фоновых измерений. На рис. 3 показан измеренный на описанной установке нейтронный спектр (фон вычтен). Спектр соответствует диапазону скорости нейтронов от 3,3 м/с до 196,8 м/с; измерения велись при частоте тока, питавшего двигатель, равной 50 Гц. Длительность канала временного анализатора импульсов соответствовала 20,3 мс. Фон составил 8,8 имп./мин.канал, что соответствовало 4% от регистрируемой в канале интенсивности для скорости нейтронов 84,1 м/с и 44% для скорости нейтронов 3,3 м/с. Интегральная интенсивность регистрируемых нейтронов составляла 1100 н/мин. После проведения некоторых усовершенствований в данных опытах фон был понижен до 1,3 имп./мин.канал. Для регистрации нейтронов использовался пропорциональный счетчик с давлением Ne^3 160 мм.рт.ст. и Ag 40 мм.рт.ст. Площадь окна счетчика составляла $S = 765 \text{ мм}^2$. Из данных рис. 3 следует, что при скоростях нейтронов от 53,2 м/с до 33,9 м/с интенсивность регистрируемых нейтронов падает как $v_z^{-2,5}$, а в диапазоне скоростей от 33,9 м/с до $\sim 5,5$ м/с — как $v_z^{-2,8}$. Спектр нейтронов, полученный в работе /1/, соответствует заметно более резкому спадающему интенсивности нейтронов при уменьшении их скорости.

В отличие от спектрометра, описанного в /1/, данный аппарат позволяет при работе изменять разрешающую способность $\delta v_z/v_z$ в пределах от 5% до 20%. Спектрометр будет использоваться для систематического изучения зависимости эффективных сечений взаимодействия нейтронов от скорости для изотопов различных элементов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессорам В. М. Колобашкину, В. В. Фролову, Л. Н. Дровой за обсуждение постановки задачи и предоставленную возможность работать на реакторе МИФИ ИРТ-2000. Авторы благодарят также за помощь в работе старшего научного сотрудника С. Б. Степанова и обслуживающий персонал реактора, Ю. А. Лапушкина — за участие в монтаже спектрометра и проведении измерений.

Поступила в редакцию
17 июня 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. A. Steyerl, Nucl. Instr. and Meth., 101, 295 (1972).