

Механический монохроматор нейтронов для спектрометра малоуглового рассеяния на реакторе SAFARI-I

© В.И. Лохматов, А.Г. Новиков*, А.В. Пучков*, А.П. Сиротин

Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна, Московская обл., Россия

* Государственный научный центр РФ — Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского,
Обнинск, Калужская обл., Россия

E-mail: novikov@ipre.ru

Описывается механический монохроматор медленных нейтронов, предназначенный для использования в спектрометре малоуглового рассеяния нейтронов, сооружаемом на одном из нейтронных пучков реактора SAFARI-I (NECSA, Южная Африка).

При выборе конструкции механического монохроматора (ММ) ставилась цель создания низкооборотного ММ с высоким пропусканием и умеренным разрешением $\sim 10\text{--}15\%$, оптимальным для его использования в малоугловом нейтронном спектрометре, сооружаемом на реакторе средней мощности. Конструкция должна была обеспечить минимальную потерю полезных нейтронов, надежность работы и возможность длительной эксплуатации прибора без замены или ремонта его движущихся узлов.

Прибор был сконструирован как набор идентичных цилиндрических секций, установленных на общий вал (единую ось), по периферии которых располагались ламели, изготовленные из тонкого (0.5 mm) поглощающего материала ($\text{Al} + 7\text{ wt.}\% \text{ Gd}$), обеспечивающего рекордную пропускную способность ротора ММ. Всего по окружности ММ размещалось 200 ламелей, образующих 200 щелей, расположенных одна за другой таким образом, чтобы получить винтовую щель нужной ширины (5.5 mm) с заданным углом сдвига входного и выходного отверстий щели (0.21 rad).

В передней части ММ секции следовали с равномерным шагом, примыкая одна к другой, тогда как во второй его половине секции располагались с переменным (увеличивающимся) шагом. Шаг выбирался таким образом, чтобы это не сказывалось на монохроматизирующих свойствах ротора, однако позволяло заметно сэкономить дорогой поглощающий материал ($\sim 20\%$). Общий вид конструкции ротора показан на рис. 1, а его основные характеристики даны в таблице. Ротор помещался в стальной вакуумируемый корпус цилиндрической формы. Общий вид ММ показан на рис. 2. Оптимизация конструкции ротора ММ позволила снизить его вес по сравнению с разработанным нами ранее вариантом [1] в 3 раза.

Ротор ММ приводится во вращение электромотором постоянного тока типа 4 МИ-12 Φ мощностью 1 kW . Система вращения включает в себя блок стабилизации скорости вращения ротора ($\pm 100\text{ }\mu\text{s}$ на 1 оборот), а также блокировки питания мотора по току якоря ($< 5\text{ A}$), вакууму в корпусе ММ и температуре подшипников. Предусмотрена также блокировка набора информации

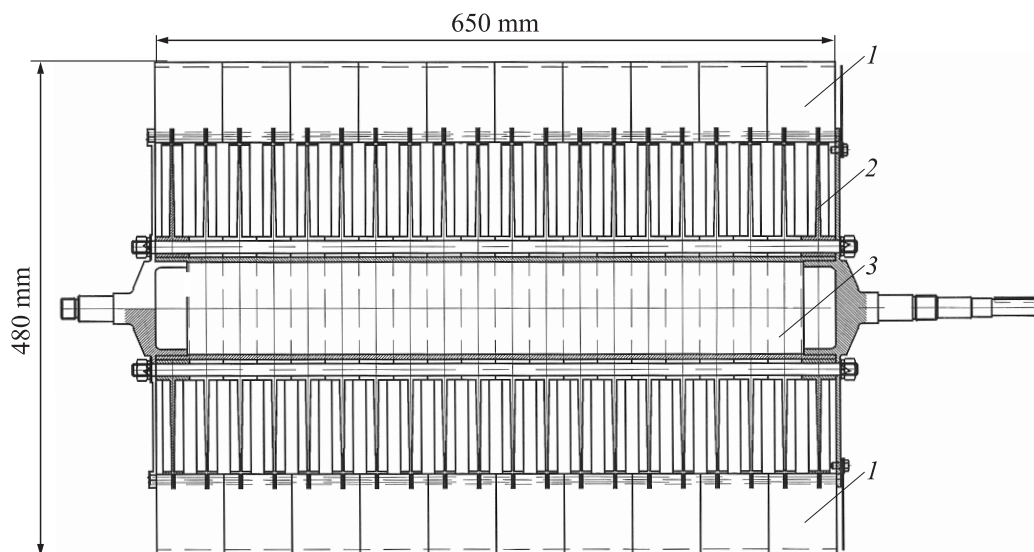


Рис. 1. Общий вид ротора механического монохроматора. 1 — поглощающие пластины, 2 — диски для установки пластин, 3 — труба для крепления дисков.

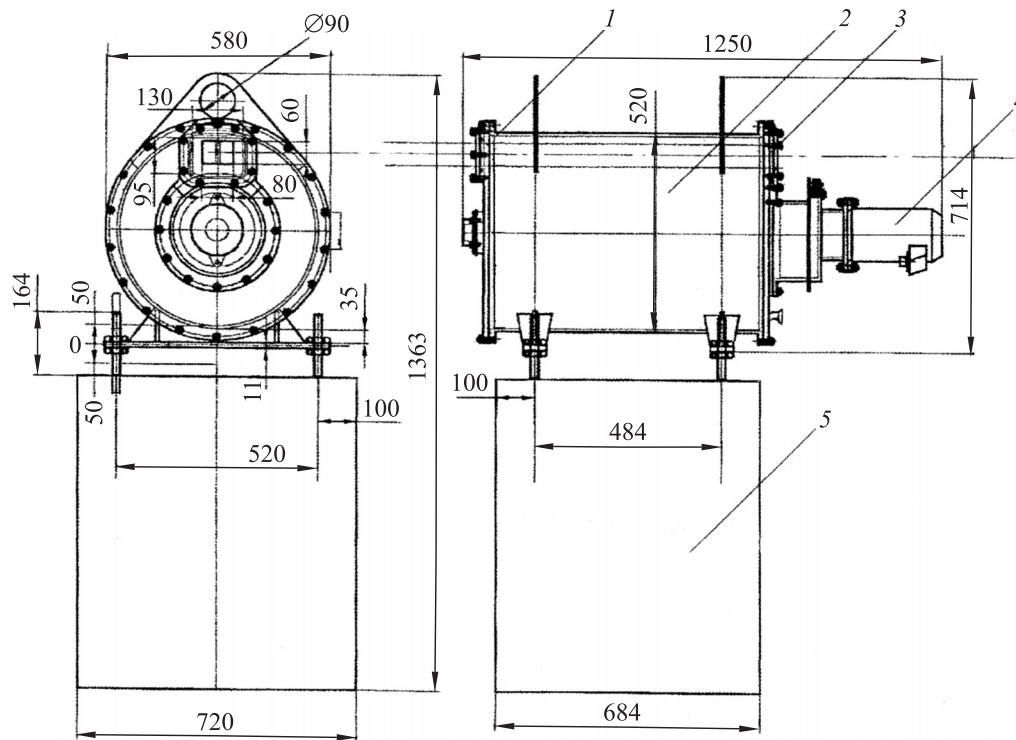


Рис. 2. Общий вид механического монохроматора, помещенного на опорную бетонную тумбу (все размеры приведены в мм). 1 — входное окно монохроматора, 2 — корпус монохроматора, 3 — выходное окно, 4 — электродвигатель, 5 — тумба.

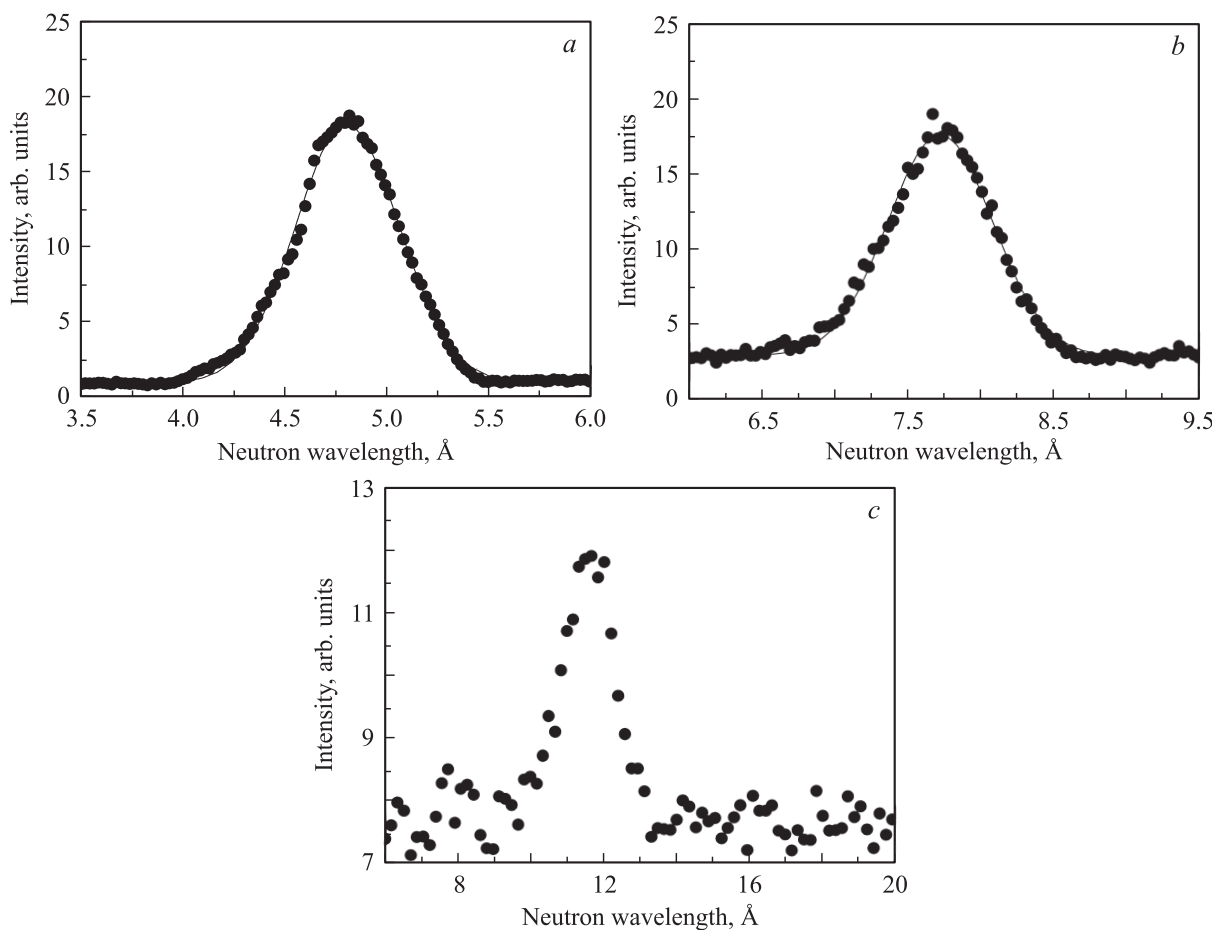


Рис. 3. Калибровочные спектры монохроматических нейтронов для трех скоростей вращения ротора, min^{-1} : *a* — 2500 (4.8 Å), *b* — 1500 (7.7 Å), *c* — 1000 (11.6 Å).

анализирующей системой при выходе оборотов за пределы указанной выше точности стабилизации ($\pm 100 \mu\text{s}$).

Энергетическая калибровка ММ была выполнена методом времени пролета. Для этого выходные отверстия винтовых щелей ММ закрывались поглощающим экраном, в котором была оставлена щель, по высоте (60 mm) и положению совпадающая с рабочими щелями ротора и имевшая ширину 10 mm. На входе и выходе ММ устанавливались коллиматоры, каждый из которых был снабжен щелью такой же геометрии. Для осуществления анализа по времени пролета использовался сигнал сенсора, возникающий в момент прохождения магнитной метки, установленной на роторе ММ. Совпадение метки и сенсора соответствовало „открытию“ щели ММ и возникновению импульса монохроматических нейтронов, вылетающих из выходного отверстия ММ. Временной анализ проводился на пролетной базе 5 m. После проведения калибровки ММ поглощающий экран, закрывающий выходные отверстия винтовых щелей, был удален.

Полученные калибровочные спектры монохроматических нейтронов для различных значений скорости вращения ротора показаны на рис. 3. На рис. 4 в качестве иллюстрации показан спектр монохроматических нейтронов, прошедших через холодный Ве-фильтр ($T \sim 55 \text{ K}$, $L \sim 200 \text{ mm}$), для длин волн нейтронов, приходящихся на область брэгговской границы в сечении рассеяния Ве. Из этого рисунка видно, что амплитуда пика монохроматических нейтронов, прошедших через ММ (пик на 3.5 \AA), мала по сравнению с амплитудой пика на $\sim 4.2 \text{ \AA}$, сформированного наложением брэгговской границы и правым крылом пика монохроматических нейтронов, что можно рассматривать как свидетельство эффективной работы фильтра.

Основная характеристика прибора — зависимость длины волны монохроматических нейтронов от скорости вращения ротора — показана на рис. 5. Видно, что полученные нами экспериментальные данные хорошо

Характеристики ротора ММ

Характеристика	Значение
Рабочая длина	650 mm
Диаметр, соответствующий половине высоты щели	420 mm
Высота щели	60 mm
Ширина щели на половине высоты	5.5 mm
Угловой поворот щели на рабочей длине	0.21 rad
Толщина поглощающих пластин	0.5 mm
Пропускание полезных нейтронов	$\sim 90\%$
Интервал рабочих скоростей вращения	$1000\text{--}4500 \text{ min}^{-1}$
Интервал выделяемых длин волн нейтронов	$3\text{--}10 \text{ \AA}$
Пропускание ротора	$\sim 90\%$
Разрешение ММ по длине волны нейтронов ($\Delta\lambda/\lambda$)	$\sim 15\%$
Вес ротора	$\sim 50 \text{ kg}$

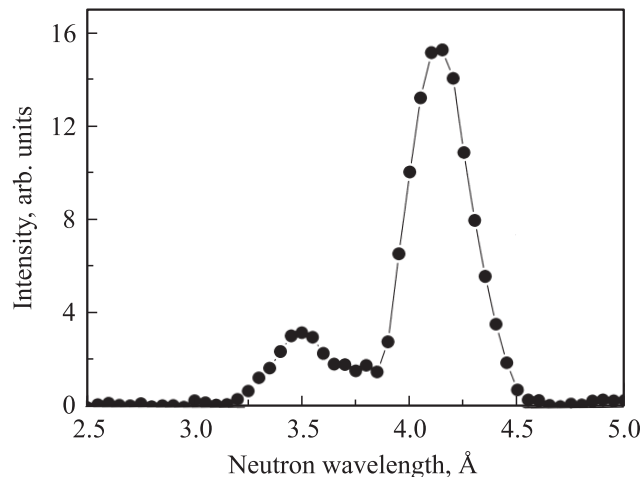


Рис. 4. Спектр нейтронов, прошедших через ММ, настроенный на длину волны нейтрона $\lambda \sim 3.5 \text{ \AA}$ (3500 min^{-1}), приходящуюся на брэгговскую границу Ве-фильтра. Двугорбая структура спектра обусловлена наложением пика монохроматических нейтронов, пропускаемых ММ, и скачка в сечении рассеяния Ве. Фоновая составляющая вычтена.

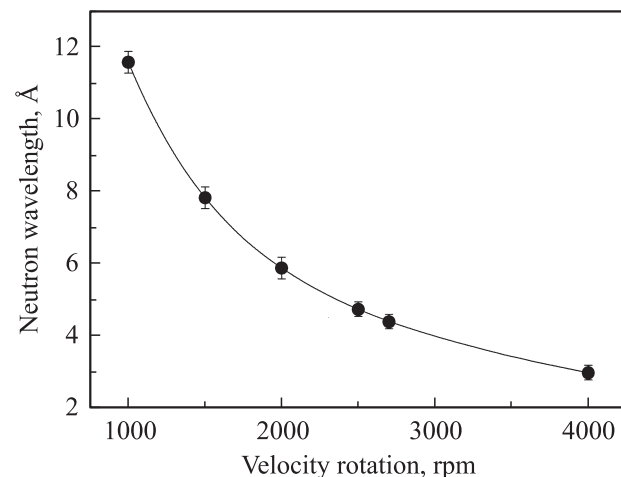


Рис. 5. Зависимость длины волны нейтронов, пропускаемых ротором ММ, от скорости его вращения. Сплошная кривая — расчет по формуле $\lambda = A/n$ (см. текст).

согласуются с расчетом, выполненным по формуле $\lambda = A/n$, где λ — длина волны нейтронов, прошедших через ММ (\AA), n — скорость вращения ротора (min^{-1}), $A = 1.2 \cdot 10^3$ — константа, определяемая параметрами конструкции ротора.

Разрешение ММ определялось как полуширина пика монохроматических нейтронов, прошедших через ММ (рис. 6). При этом из экспериментально получаемой величины удалялся вклад, возникающий как следствие использования времяпролетной методики ($\sim 3\%$). Полученная величина разрешения близка к его расчетному значению, включающему в себя вклады, связанные как с шириной щели, так и с расходимостью нейтронного пучка, падающего на ММ.

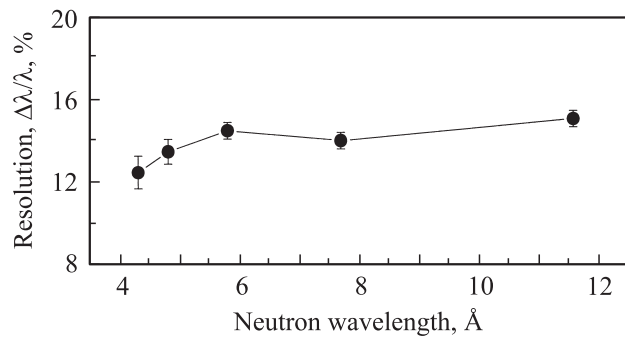


Рис. 6. Зависимость разрешения ММ от длины волны нейтронов.

Таким образом, сконструирован, изготовлен и сдан в эксплуатацию механический монохроматор медленных нейтронов, предназначенный для работы в составе малоуглового нейтронного спектрометра, сооружаемого на реакторе SAFARI-I. Проведенные длительные испытания монохроматора показали надежность его работы и правильность принятых конструктивных решений. Выполненная методом времени пролета энергетическая калибровка монохроматора показала хорошее согласие его характеристик с расчетными. Конструкция ротора ММ обеспечила минимальную потерю полезных нейтронов, надежность работы и возможность длительной эксплуатации прибора без замены или ремонта его движущихся узлов. Опыт эксплуатации показал, что низкооборотный ММ с высоким пропусканием и умеренным разрешением является оптимальным решением для установок по малоугловому нейтронному рассеянию, сооружаемых на реакторах средней и малой мощности.

Список литературы

- [1] S. Danilkin, V. Konstantinov, A. Novikov, A. Puchkov, B. Solovjev, Sh. Zeinalov, A. Wiedenmann. *Physica B* **276–278**, 100 (2000).