

# НЕЙТРОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТКАХ

А.И.Иоффе, Ю.Г.Туркевич, Г.М.Драбкин

Рассматривается возможность создания нейтронного интерферометра на дифракционных решетках и пути его оптимизации, приводящие к значительному (более чем в 30 раз) увеличению его светосилы. Проводимые оценки показывают, что предлагаемый интерферометр может быть использован в исследованиях, ведущихся на среднепоточных реакторах.

По принципу когерентного деления падающего пучка все нейтронные интерферометры можно классифицировать на интерферометры с пространственным (бипризменный интерферометр [1]) и амплитудным делением волнового фронта (интерферометр на совершенном кристалле [2]).

Однако, следует отметить, что кроме указанного выше способа, амплитудное когерентное деление волновых фронтов осуществимо также и с помощью дифракционных решеток. Анализу возможности создания нейтронного интерферометра, использующего последний способ деления и совмещения нейтронных пучков, и посвящена эта работа.

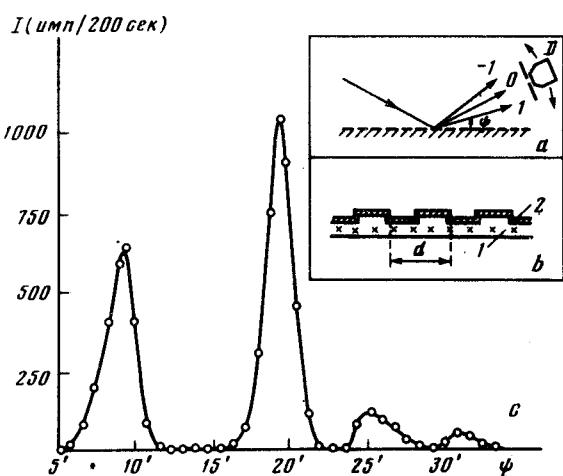


Рис.1. Дифракция пучка монохроматических нейтронов на нейтронной дифракционной решетке: *a* – схема эксперимента; *b* – нейтронная дифракционная решетка на стекле, 1 – фотолитографическая дифракционная решетка на стекле, 2 – напыленный слой Ni-<sup>58</sup> толщиной  $\approx 2000 \text{ \AA}$ . *c* – угловая зависимость интенсивности в отраженном пучке монохроматических нейтронов ( $\lambda = 2,7 \text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda/\lambda = 0,045$ ). Период решетки  $d = 0,021 \text{ мм}$

В качестве нейтронных дифракционных решеток нами использовались фотолитографические дифракционные решетки на стекле с прямоугольным профилем поверхности рельефа, на которые напылялся слой Ni-<sup>58</sup> толщиной  $\approx 2000 \text{ \AA}$  (рис.1, *b*). При угле падения нейтронного пучка, меньшим критического для материала покрытия, возникает модуляция коэффициента отражения (который обращается в нуль для вертикальных участков профиля) и такая структура становится отражательной дифракционной решеткой.

На рис.1, *c* представлена угловая зависимость интенсивности в отраженном пучке монохроматических нейтронов ( $\lambda = 2,7 \text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda/\lambda = 0,045$ ), падающем на нейтронную дифракционную решетку с периодом  $d = 0,021 \text{ мм}$ .

под углом  $\approx 19^\circ$ . Дифракционная эффективность составляет 4,5 и 7,3% для +1 и 0 порядков дифракции соответственно, что хорошо согласуется с результатами, полученными для нарезных нейтронных дифракционных решеток [3].

Предлагаемая схема интерферометра представлена на рис. 2. Падающий пучок монохроматических нейтронов дифрагирует на когерентном делителе  $BS$  с образованием двух взаимнокогерентных пучков 1 и 2, которые посредством зеркал  $M_1$  и  $M_2$ , сводятся на совместителе  $A$  и пространственно совмещаются в результате дифракции на последнем. Изменение фазовых соотношений между пучками (путем введения фазового сдвига в один из пучков или неодинаковых фазовых сдвигов в оба пучка) приводит к амплитудной модуляции выходящего пучка:

$$I(\Delta\phi) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi,$$

где  $\Delta\phi$  – вводимая разность фаз.

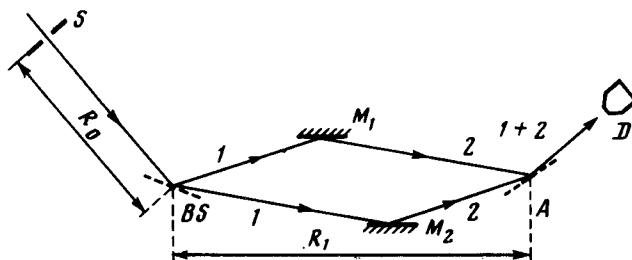


Рис.2. Предлагаемая схема нейтронного интерферометра:  $M_1$  и  $M_2$  – нейтронные зеркала,  $BS$  и  $A$  – дифракционные решетки,  $S$  – диафрагма, определяющая размер источника,  $D$  – детектор

В качестве пучков 1 и 2 могут использоваться любые дифракционные порядки, однако, по соображениям интенсивности нецелесообразно (при доступных значениях нейтронных потоков) использование иных, кроме 0 и +1 порядков дифракции, что и будет учтено в дальнейшем обсуждении.

Угловое расхождение дифрагированных пучков  $\omega$  (рис.2) определяет величину пространственного разделения пучков  $\Delta$  при заданных размерах  $R_1$  самого интерферометра. Так, для указанных выше параметров схемы  $\Delta = 1,35$  мм при  $R_1 = 1$  м и  $\Delta = 2,7$  мм при  $R_1 = 2$  м.

Одним из основных показателей качества работы интерферометра является видность  $V$  регистрируемых интерференционных полос, которая становится определяющей в случае недостаточной интенсивности входного, и, следовательно, выходного пучков. Причиной снижения видности может быть как неравенство интенсивностей, так и неидентичность интерферирующих волновых фронтов. В обычных оптических интерферометрах с зеркалами в качестве светоделителей, все оптические элементы (при идеальном исполнении) не вносят искажений в распространяющиеся волновые фронты. Кроме того, в оптическом диапазоне всегда имеется возможность формирования плоского освещающего пучка, что для нашего случая сопряжено со значительными потерями интенсивности. Вследствие этого предполагается использование источника конечных размеров и, поскольку дифракционные решетки вносят искажения в сферический волновой фронт, необходимо провести анализ таких искажений.

Авторами показано [4], что значение волновой aberrации интерферирующих волновых фронтов пропорционально квадрату длины совместителя  $A$ . Это приводит к возникновению интерференционных полос в поперечном сечении регистрируемого пучка и снижению видности интерференционной картины, зависимость которой от размеров  $s$  источника и  $a$  совместителя представлена на рис. 3.

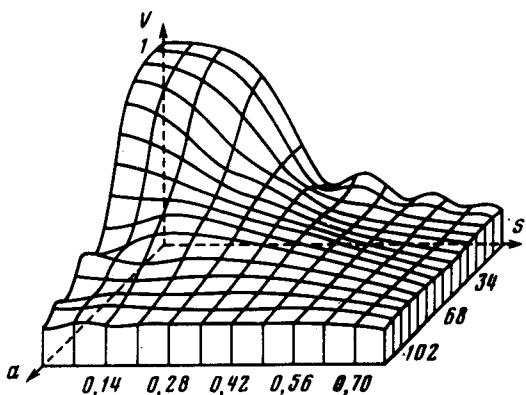


Рис.3.Пространственный график зависимости видности интерференционной картины от размеров  $a$  совместителя и  $s$  источника при  $R_0 = 10$  м,  $R_1 = 1$  м

Для проведения оценок по интенсивности можно воспользоваться величиной плотности нейтронного потока на выходе реакторного канала которая для реактора ВВР-М составляет  $5,8 \cdot 10^{11}$  н/сек.·см $^2$  · Å · стерад] при  $\lambda = 2,7$  Å [5]. Для  $\Delta\lambda/\lambda = 0,045$  и размера входной щели  $3 \times 0,03$  см $^2$  интенсивность регистрируемого потока составит (для экспериментальных значений дифракционной эффективности решетки) около 40 н/сек.

Анализ эффективностей предлагаемого интерферометра и интерферометра на совершенном кристалле [4] позволяет сделать вывод об их сравнимой теоретической светосиле. Кроме того, оптимизацией режима работы рассматриваемого интерферометра можно уменьшить его угловую селективность. Так, если минимальное допустимое значение видности  $V_{min} = 0,4$ , то размер входной щели может быть увеличен до 0,075 см. Вместе с увеличением дифракционной эффективности вплоть до теоретических значений это позволит увеличить регистрируемую интенсивность более чем в 30 раз. Отметим, что ввиду более высокой дифракционной эффективности фазовых дифракционных решеток, их применение обещает четырехкратное увеличение светосилы интерферометра.

Таким образом, обсуждаемый нейтронный интерферометр уступает интерферометру на совершенном кристалле по своим геометрическим параметрам (величине пространственного разделения пучков, размерам), но обладает сравнимой с ним светосилой. Ввиду малого поперечного сечения выходящего пучка, возможно достижение (при помещении детектора в защиту с длинной щелевой диафрагмой) весьма высокого соотношения сигнал/фон и, следовательно, применение такого интерферометра и на среднепоточных реакторах.

Авторы выражают благодарность А.А.Довжикову и М.М.Агамаляну за помощь в эксперименте, а также В.А.Рубану за полезные обсуждения.

Институт ядерной физики  
им. Б.П.Константина  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 марта 1981 г.

### Литература

- [1] H.Maier-Leibnitz, T.Springer, Z. Physik, 167, 386, 1962.
  - [2] U.Bonse, M.Hart, Z.Physik, 194, 1, 1966; H.Rauch, W.Treimer, U.Bonse Phys. Lett., 47A, 369, 1974.
  - [3] H.Kurz, H.Rauch, Z. Physik, 220, 419, 1969.
  - [4] А.И.Иоффе, Ю.Г.Туркевич, Г.М.Драбкин. Препринт ЛИЯФ -643, 1981.
  - [5] А.П.Булкин, В.А.Кезерашвили и др. Препринт ЛИЯФ-505, 1979.
-