

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

M 641

P13-88-326

**Г.М. Миронова**

**ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙТРОНОГРАФИИ  
В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИБР-2**

**1988**

С введением в действие высокопоточных стационарных и импульсных исследовательских реакторов возникла и бурно прогрессирует нейтронография в реальном масштабе времени. Так, на стационарном реакторе ILL в Гренобле ( $W = 60$  МВт) в ходе химической реакции гидратации порошка трехкальциевого алюмината нейтронограммы с достаточной статистикой измерялись каждые 6 минут<sup>1/</sup>. Та же реакция была исследована на дифрактометре ДН-2<sup>2/</sup> импульсного реактора ИБР-2 с временным разрешением  $\Delta t = 10$  с, что позволило впервые установить основные стадии реакции<sup>3/</sup>. В настоящей работе обсуждаются предельные возможности реактора ИБР-2 для дифракционных исследований *in situ* переходных процессов.

Если в методе постоянной длины волны на стационарных реакторах временной шаг слежения за переходным процессом  $\Delta t$  обусловлен временем измерения нейтронограмм с достаточной статистикой, составляя на лучших реакторах несколько минут<sup>1/</sup>, и дальнейшее сокращение  $\Delta t$  связано с увеличением потока нейтронов, то на импульсных реакторах при условии получения нейтронограммы от одной вспышки можно в сотни раз сократить  $\Delta t$  без увеличения потока нейтронов (рис. 1).

На реакторе ИБР-2, пока единственном в мире из им-

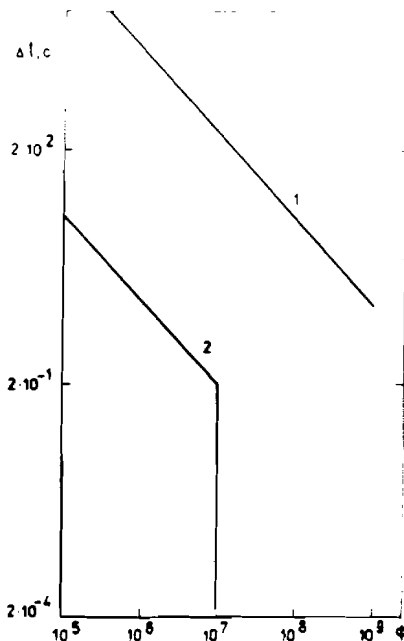
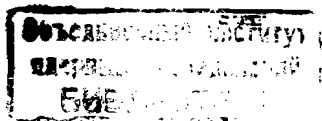


Рис. 1. Зависимость временного разрешения  $\Delta t$  от потока нейтронов на образце для стационарных реакторов (кривая 1). Та же зависимость для импульсных реакторов (кривая 2). Для реактора ИБР-2 реализуется возможность измерения нейтронограммы от одной вспышки ( $\Delta t = 200$  мс), что позволяет снизить  $\Delta t$  до 300 мкс без увеличения потока нейтронов на образце.



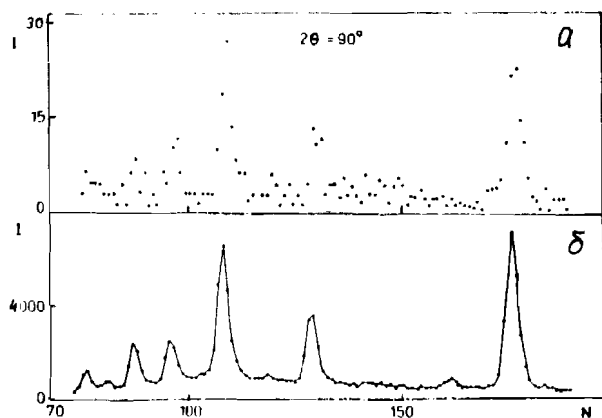


Рис. 2. Спектр поликристаллического молибдена, снятый от одной вспышки реактора (а) и за время измерения 1 мин (300 вспышек реактора) (б). По оси абсцисс – номер временного канала шириной 128 мкс, по оси ординат – абсолютная интенсивность.

пульсных источников, такая возможность существует и недавно реализована. При средней мощности реактора 2 МВт и частоте следования импульсов 5 Гц на дифрактометре ДН-2 на квадратный сантиметр образца падает  $2 \cdot 10^6$  нейтронов за 10 мс (временной интервал прихода наиболее интенсивной части спектра нейтронов), что при благоприятных фоновых условиях достаточно для получения нейтронограммы. Сравнение нейтронограмм от одной вспышки (рис. 2а) и от 300 вспышек (рис. 2б) показывает хорошее их соответствие. Ошибка в площади сильнейших пиков в спектре рис. 2а не превышает 10%, что позволяет следить за переходными процессами с  $\Delta t = 200$  мс и дает возможность дальнейшего уменьшения  $\Delta t$  в  $\sim 700$  раз, используя одновременную съемку нейтронограмм несколькими детекторами.

В соответствии с уравнением дифракции Вульфа – Брэгга

$$2d \cdot \sin \theta = \lambda, \quad (1)$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние,  $2\theta$  – угол рассеяния нейтронов,  $\lambda$  – длина волны нейтронов, нейтроны с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , разделенные при попадании на образец временным интервалом  $\Delta t$ , дадут на углах рассеяния  $2\theta_1$  и  $2\theta_2$  одноименные рефлексы, характеризующие состояние образца с интервалом времени  $\Delta t$ :

$$\Delta t = k \cdot d \cdot (\sin \theta_1 - \sin \theta_2), \quad (2)$$

где  $k = 12,6 \text{ мс}/\text{Å}$  – постоянная дифрактометра ДН-2. Минимальное  $\Delta t$  ограничено шириной рефлекса, связанной, в основном, с неопределенностью времени вылета нейтронов из замедлителя, и составляет  $\sim 300$  мкс. Интервал времени 10 мс, в течение которого в промежут

ке между соседними импульсами наиболее интенсивная часть спектра нейтронов падает на образец, определяет длительность переходных процессов, адекватных для изучения на дифрактометре ДН-2. Процессы длительностью  $> 10$  мс с временным разрешением 300 мкс могут исследоваться только в режиме повторения измерений, при смещении каждый раз начала процесса на 10 мс; максимальное число повторений, необходимое для сканирования процессов длительностью 200 мс и более, равно 20. При этом принципиальное отличие от традиционных кинетических экспериментов в повторяющемся режиме<sup>4/</sup> в том, что нет необходимости в накоплении однотипных измерений, требующих специальной синхронизирующей техники, для набора статистики.

Таким образом, уникальная возможность измерения нейтронограмм с достаточной статистикой от одного импульса реактора ИБР-2 позволяет исследовать процессы длительностью  $t$  несколько секунд и более с временным разрешением  $\Delta t = 200$  мс, процессы с  $t \leq 10$  мс с разрешением  $\Delta t = 300$  мкс и процессы с  $t > 10$  мс с разрешением  $\Delta t = 300$  мкс при повторении процесса. Данная методика найдет применение в нейтронографическом исследовании переходных процессов в физике, химии, биологии.

Автор благодарит И.М.Франка и Д.Балли за интерес к работе и полезные обсуждения, А.М.Балагурова, Г.Ф.Жиронкина, Г.П.Жукова, В.Е.Новожилова, А.И.Островного за большую помощь в экспериментальной части работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Christensen A.N., Lehmann M.S. *J. Sol. St. Chem.*, 1984, 51, p.196.
2. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, 3-84-291, Дубна, 1984.
3. Балагуров А.М., Миронова Г.М. *Краткие сообщения ОИЯИ №19-86*, Дубна, 1986, с.50.
4. Niumura N., Muto M. *NIM*, 1975, 126, p.87.

Рукопись поступила в редакционный отдел  
12 мая 1988 года.