

Каммель В. и др.

С 348 эк

К-183

Б1-13-8183.

У 274/74



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-13-8183

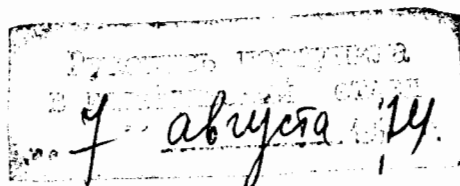
ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория нейтронной физики

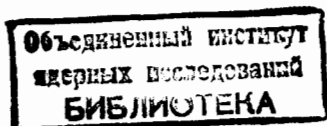
В. Каммель, Б. Липпольд, Б. Н. Савенко, К. Хенниг

Б1-13-8183

ИСПЫТАНИЕ УСТАНОВКИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ
МОНОКРИСТАЛЛОМ НА РЕАКТОРЕ ИБР-30



Камель



Дубна, 1974

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описана установка с вращающимся монокристаллом на реакторе ИБР-30, приведены полученные параметры и сравнение параметров данной установки с параметрами аналогичных спектрометров на других реакторах.

1. Введение

В настоящее время спектрометр с вращающимся монокристаллом является довольно распространенным и хорошо изученным инструментом для исследования неупругого рассеяния нейтронов по методу времени пролета /1 - 5/. Помимо достоинств такого спектрометра на стационарных реакторах, описанных Брокхаузом в работе /1/, при сочетании спектрометра с вращающимся монокристаллом с импульсным реактором можно ожидать дополнительные преимущества, как например, более полное использование нейтронов из импульсного реактора по сравнению со стационарным, отсутствие одновременных отражений более высоких порядков и уменьшение фона быстрых нейтронов. Характеристики уже работающих на стационарных реакторах спектрометров с вращающимся монокристаллом в сочетании с импульсным реактором ИБР-2, строящимся в Дубне /6/, позволяют рассчитывать на использование его в широком диапазоне исследований неупругого рассеяния нейтронов в твердых телах и жидкостях. Для этого были проведены испытания макета этого спектрометра на реакторе ИБР-30 /7/.

2. Принцип работы спектрометра с вращающимся монокристаллом

Нейтроны отражаются от монокристалла, если выполняется условие Брэгга:

$$n \lambda = 2d_{hke} \sin \theta \quad (1)$$

где λ - длина волны нейтрона, d_{hke} - межплоскостное расстояние в кристалле с миллеровскими индексами h, k, l , θ - угол Брэгга и n - порядок отражения. Для получения монохроматическо-

го пучка нейтронов от вращающегося монокристалла на импульсном реакторе необходимо, чтобы в момент отражения определенной плоскостью монокристалла на нее попадали нейтроны соответствующей длины волны (формула I).

Поскольку длительность одного импульса нейтронов из реактора примерно на два порядка меньше времени одного оборота монокристалла (100 мксек и 10 мсек соответственно), то можно получить только один импульс монохроматических нейтронов от вращающегося монокристалла на один реакторный импульс.

Разрешающая способность такой установки определяется длительностью импульса монохроматических нейтронов на образце и геометрическими факторами. Длительность импульса монохроматических нейтронов зависит от коллимации перед и после вращающегося монокристалла, от его мозаичности, скорости вращения, расстояния между монокристаллом и образцом и от длины волны монохроматических нейтронов /1,2,4,5/. Очень большое влияние на длительность импульса нейтронов от монокристалла оказывает эффект Доплера и размеры монокристалла /1-5/.

3. Описание эксперимента

Схема спектрометра приведена на рис.1. Нейтроны из активной зоны 1 проходят через коллиматор 2 (парафин плюс карбид бора) и попадают на вращающийся монокристалл 3. После этого, отразившись от монокристалла под заданным углом θ , монохроматический пучок нейтронов попадает на образец 5, а рассеянные на образце нейтроны регистрируются детектором 7. 4 - коллиматор из парафина и карбида бора, установленный сразу же после вращающегося монокристалла,

6 - щелевой коллиматор на пути рассеянных образцом нейтронов. Пролетная база L_{01} от активной зоны до вращающегося монокристалла могла быть измененной от II до I3 м, база L_{12} от монокристалла до образца - от I,5 до 6 м, L_{23} - пролетная база от образца до детектора. Импульсы от детектора после усиления и формирования подавались на многоканальный временной анализатор с шириной канала $\tau = 8$ мксек.

Монокристалл 3 на рис. I - цилиндр из алюминия высотой 150 мм и диаметром 50 мм, с мозаичностью $\gamma \approx 15'$. Ось цилиндра совпадала с кристаллографической осью $[110]$. В экспериментах угол отражения нейтронов θ (а, следовательно, длина волны и энергия) могли изменяться в пределах от 30° до 60° ($1,5 + 3,5 \text{ \AA}$ и $36 - 7 \text{ мэВ}$ соответственно), а монохроматические нейтроны можно было получить отражением от ряда плоскостей, например, $(1\bar{1}1)_n$, $(002)_n$, $(2\bar{2}0)_n$, $(1\bar{1}3)_n$, $(2\bar{2}4)_n$, $(3\bar{3}1)_n$ и других ^{ж)} в зависимости от сдвига по времени между началом нейтронного импульса из реактора и электрическим сигналом датчика на монокристалле. Датчик при каждом обороте монокристалла производит электрический импульс.

При работе спектрометра с вращающимся монокристаллом на импульсном реакторе вращение монокристалла должно быть строго синхронным с импульсами нейтронов. Запуск многоканального временного анализатора производится от датчика на монокристалле, что позволяло исключать из результатов погрешность, вносимую нестабильностью частоты импульсов реактора.

ж) Цифры в скобках - миллеровские индексы плоскостей, индекс за скобкой - порядок отражения).

Макет спектрометра был установлен на втором канале реактора ИБР-30. Измерения его характеристик проводились с βF_3 детектором на месте образца 5.

4. Экспериментальные результаты и их обсуждения

На рис.2 показан спектр, полученный при измерениях в инжекторном режиме работы реактора ИБР-30 ^{18/}. Пик в канале 615 соответствует отражению от плоскости $(1\bar{1}3)_1$. Скорость вращения монокристалла 6000 об/мин, длительность (полуширина) отраженного монохроматического пучка нейтронов на месте образца $\tau_{1/2} \approx 35$ мксек. В этом случае в спектре наблюдалась только одна монохроматическая линия, что, в принципе, позволяет проводить измерения неупругого рассеяния нейтронов на таком спектрометре без дополнительных устройств (фильтры, второй вращающийся монокристалл), которые используются на спектрометрах с вращающимся монокристаллом на стационарных реакторах для очистки пучка от ненужных нейтронов других порядков отражения (уравнение I). Так как в монокристалле имеется целый набор отражающих плоскостей с различными межплоскостными расстояниями d_{hke} и соответствующими $n\lambda$, то при некоторых совокупностях экспериментальных условий: L_0 , θ , скорость вращения монокристалла ω с учетом конечной τ длительность реакторного импульса τ , наблюдаются в одном спектре монохроматические нейтроны разных длин волн (рис.3). Различия в амплитудах пиков на рис.3 связаны с формой импульса нейтронов из реактора, которая имеет вид, близкий к форме пика на рис.4. На ~~этом же рисунке~~ ^{рис. 4} показан спектр нейтронов, отраженных от неподвижного монокристалла плос -

костью (224) . При этом реактор ИБФ-30 работал в инжекторном режиме /8/. Ширина пика на рис.4 $\tau_{1/2} \approx 77$ мксек при длине волны $\lambda = 0,97 \text{ \AA}$. Видно, что длительность реакторного импульса нейтронов определенной длины волны больше в 2 раза, чем длительность импульса нейтронов, отраженных вращающимся монокристаллом (рис.2,3). Следовательно, интенсивность отраженного пучка монохроматических нейтронов связана с тем, в какой момент времени в пределах длительности реакторного импульса происходит отражение.

Несимметричность формы импульса монохроматических нейтронов на рис.3 возникает из-за несимметричности формы реакторного импульса (рис.4).

В наших измерениях отношение амплитуды пика монохроматических нейтронов к фону колебалось от 100 до 500 в зависимости от непосредственных условий эксперимента (L_{12} , θ , фоновой обстановки в экспериментальном зале и режима работы реактора).

Вклад в фон от монокристалла составлял примерно 30% общего фона, то есть даже в наилучшем случае можно ожидать отношение амплитуды к фону 1500-2000. Для проведения физических измерений по неупругому рассеянию нейтронов на сильно рассеивающих образцах, как например, NH_4Se на таком спектрометре требуется отношение амплитуды пика монохроматических нейтронов к фону не меньше 10000, и на данной установке не удалось провести таких измерений.

Сказанное выше о наличии в спектрах нескольких монохроматических линий, которые будут мешать при проведении физических измерений, и о фоне, который надо уменьшать, указывает, по нашему мнению, на необходимость введения второй вращающейся системы (прерыватель первичного или вторичного пучка, второго монокристалла и

т.д.). Так как доступные в настоящее время монокристаллы имеют малую отражательную способность, то в качестве второй вращающейся системы надо взять, по-видимому, вращающийся прерыватель.

На рис.5,6 показано влияние эффекта Доплера на полуширину монокристаллической линии при разных скоростях вращения монокристалла и различных направлениях вращения (измерения проводились в реакторном режиме работы ИБР-30^{/7/}). При скорости вращения монокристалла 2880 об/мин полуширина $\Gamma_{1/2}$ импульса монокристаллических нейтронов при вращении монокристалла против часовой стрелки ($\Gamma_{1/2} \approx 60$ мксек) по сравнению с полушириной $\Gamma_{1/2}$ импульса при вращении монокристалла по часовой стрелке ($\Gamma_{1/2} \approx 72$ мксек) меньше всего в 1,2 раза, а при скорости 6720 об/мин отношение аналогичных полуширин ($\Gamma_{1/2} \approx 26$ мксек и $\Gamma_{1/2} \approx 92$ мксек соответственно) составляет 3,5.

Измерения интенсивности отраженного монокристаллического пучка нейтронов при различных скоростях вращения монокристалла в одном и том же направлении - против часовой стрелки. дали одинаковый результат, что говорит об увеличении отражательной способности монокристалла за счет эффекта Доплера ^{/2/}, так как при увеличении скорости вращения уменьшается время, в течение которого монокристалл находится в положении отражения.

Ожидаемый счет нейтронов на детекторе вычислялся с помощью следующего выражения ^{/10/}:

$$I = \frac{1}{2\pi L_0} F(E) dE_0 \cdot A_M \cdot A_D \cdot \Phi \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot R \cdot \epsilon, \quad (2)$$

где I - счет на детекторе в сек, L_0 - пролетная база от замедлителя до монокристалла в см (см. рис.1), $F(E)dE_0$ - среднее число нейтронов с энергией E_0 , испускаемых с 1 см² поверхности

замедлителя в I сек, которые могут испытать отражение от монокристалла с мозаичностью ρ , A_M - эффективная площадь монокристалла (на которую попадают и от которой отражаются нейтроны), A_z - площадь части замедлителя, нейтроны с которой попадают на монокристалл, D - толщина монокристалла, f_1, f_2 - коэффициенты, учитывающие выбывание нейтронов с энергией E_0 из падающего и отраженного пучков за счет рассеяния на воздухе, R - отражательная способность монокристалла (на один сантиметр толщины) для нейтронов с энергией E_0 , ϵ - эффективность регистрации детектором нейтронов с энергией E_0 . С учетом конкретных характеристик описываемой установки получен счет 20 н/сек на детекторе. Экспериментальная величина составляет 5 ± 10 н/сек. Учитывая приблизительный характер формулы (2), совпадение экспериментальных и расчетных данных хорошее.

В таблице I приведены параметры некоторых установок с вращающимся монокристаллом.

реактор	Поток тепловых нейтронов с поверхности замедлителя (н/см ² сек)	Энергия нейтронов (мэВ)	Интенсивность нейтронов на образце (н/см ² мин)
ИСПРА-I	$2 \cdot 10^{13}$	5	$7 \cdot 10^2$ /II/
Чок-Ривер	$2 \cdot 10^{14}$	5	$2 \cdot 10^4$ /II/
Карлсруэ	$8 \cdot 10^{12}$	8	$1,2 \cdot 10^3$ /II/
Гренобль	$3 \cdot 10^{15}$	10 + 100	$2 \cdot 10^6$ /I2/ *
ИБР-30	$6 \cdot 10^{10}$ **	11	10^2 ***
ИБР-2	10^{13} **	11	10^4 *

* - расчетные данные, ** - средний поток, *** - экспериментальные данные.

Данные из таблицы I показывают, что все спектрометры с вращающимся монокристаллом имеют примерно одинаковые интенсивности нейтронов на образце, нормированные на средний поток реактора. Сравнение интенсивности нейтронов на образце, полученной на установке с вращающимся монокристаллом на ИБР-30 с интенсивностями аналогичных спектрометров на других реакторах (табл. I) показывают, что спектрометр с вращающимся монокристаллом на ИБР-2 не будет превосходить средний уровень таких же спектрометров.

Заключение

В работе описана установка с вращающимся монокристаллом на реакторе ИБР-30, приведены полученные параметры и сравнение параметров данной установки с параметрами аналогичных спектрометров на других реакторах. Авторы признательны А. Байореку и Ю. М. Останевичу за ценные дискуссии.

Савенко

Хенниг

Липольд

Каччал

ЛИТЕРАТУРА

1. B.N.Brockhouse, *Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids*, IAEA, Vienna 1961, p.713.
2. F.Carvalho, G.Ehret, W.Gläser, *Nucl.Instr.and Meth.*, 49, 197(1967).
3. H.Meister, *Nukleonik*, 10,97(1967).
4. H.Meister, B.Weckermann, *Neutron Inelastic Scattering*, IAEA, Vienna 1972, p. 713
5. A.Furrer, *Acta Cryst.*, A27,461(1971); A28,287(1972).
6. В. Д.Ананьев, И.М.Матора, Г.Н.Погодаев, В.Т.Руденко, Е.П.Шабалин, Ф.Л.Шапиро, И.М.Франк. Препринт ОИЯИ, 2372, Дубна, 1965.
7. В.Д.Ананьев, Д.И.Блохинцев, Б.Н.Бунин, Л.К.Кулькин, И.М.Матора, В.М.Назаров, В.Т.Руденко, И.М.Франк, Е.П.Шабалин, Ф.Л.Шапиро, Ю.С.Язвицкий. Препринт ОИЯИ, 13 - 4395, Дубна, 1969.
8. W.Kammel, Kim Von Zu, I.Palmai, *Preprint Central Research Institute for Physics*, КРКИ-73-33, Budapest, 1973.
9. Б.Н.Бунин, В.М.Левик, С.К.Николаев, В.Т.Руденко, А.Н.Семенов, В.Л.Смирнов, А.С.Торопов, В.К.Хохлов. Препринт ОИЯИ, 13 - 6213, Дубна, 1972.
10. H.Maier-Leibnitz, *Neutron Inelastic Scattering*, IAEA, Vienna 1972, p.681.
11. R.M.Brugger, Y.D.Harker, *AEC Research and Development Report Instruments*, IDO-17134, 1966.
12. ILL *Neutron Beam Facilities at the HFR available for Users*, ILL, Grenoble, 1973.

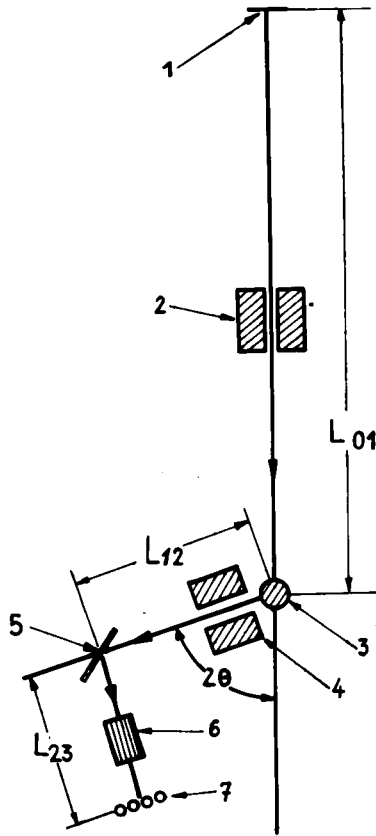


Рис. I Схема установки с вращающимся монокристаллом.
 1 - активная зона реактора, 2, 4, 6 - коллиматоры,
 3 - вращающийся монокристалл, 5 - образец, 7 - детектор,
 θ - угол рассеяния, L_{01} , L_{12} , L_{23} - пролетные базы.

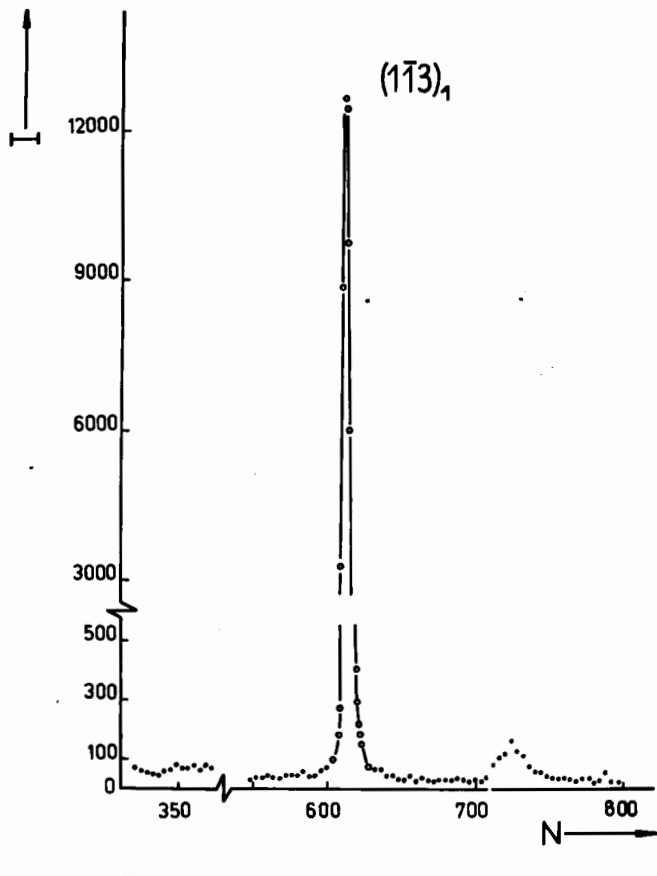


Рис.2 Спектр нейтронов, отраженный от плоскости $(1\bar{1}3)_1$ вращающегося монокристалла, I - интенсивность, N - номер канала.

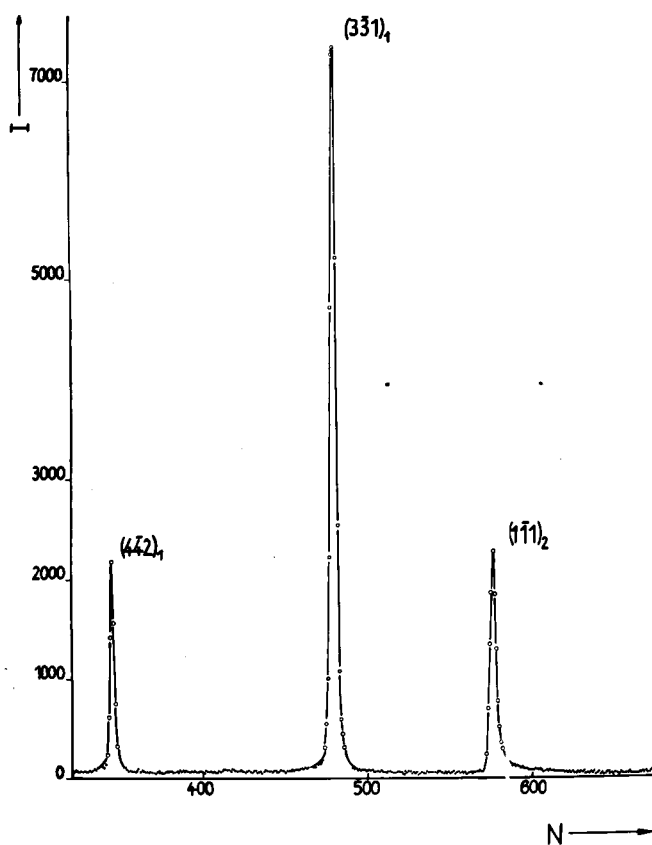


Рис.3 Спектр нейтронов, отраженных от плоскостей $(4\bar{4}2)_1$, $(3\bar{3}1)_4$ и $(1\bar{1}1)_2$ вращающегося монокристалла.
 I - интенсивность, N - номер канала.

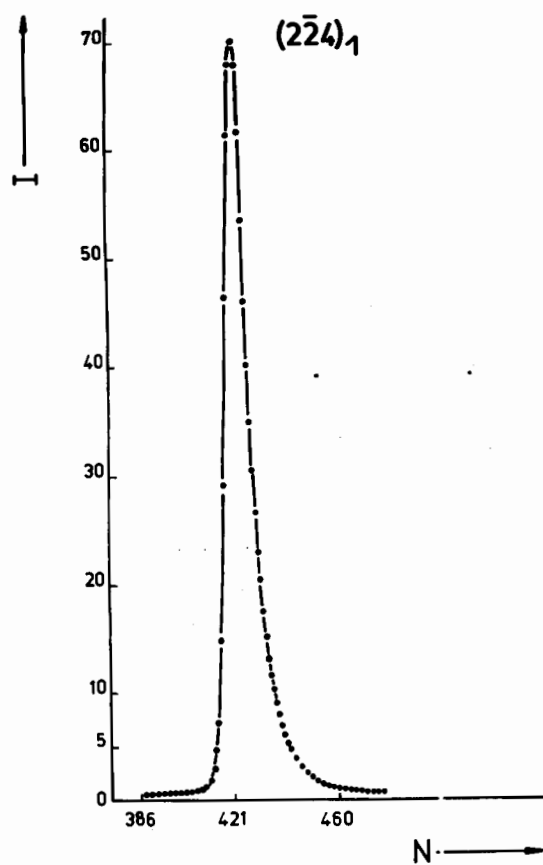


Рис.4 Спектр нейтронов, отраженных от плоскости $(2\bar{2}4)_1$, неподвижного монокристалла. I -- интенсивность, N -- номер канала.

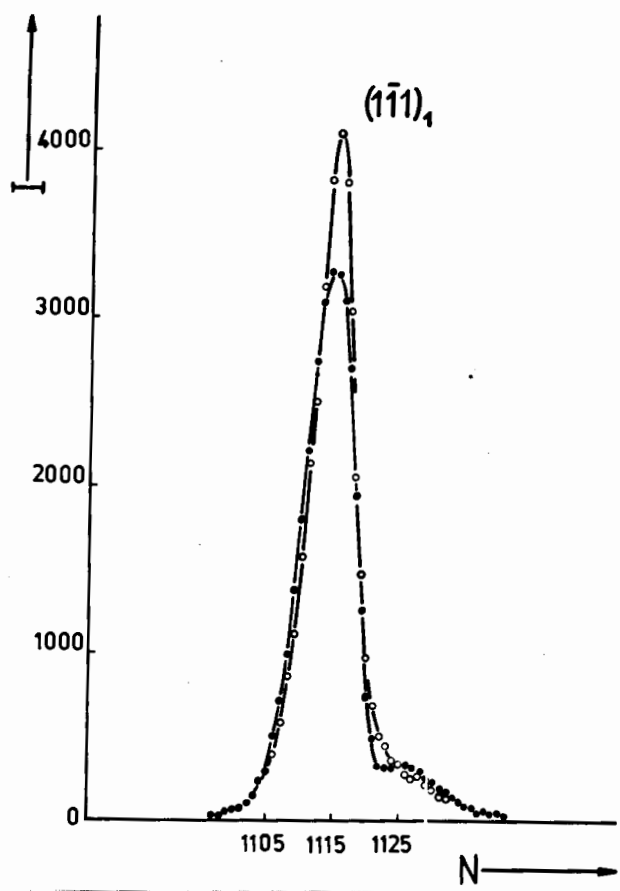


Рис.5 Влияние эффекта Доплера на длительность импульса нейтронов, отраженных от плоскости $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})_1$, I - интенсивность, N - номер канала. Число оборотов монокристалла 2880 об/мин
 O - вращение против часовой стрелки, ● - вращение по часовой стрелке.

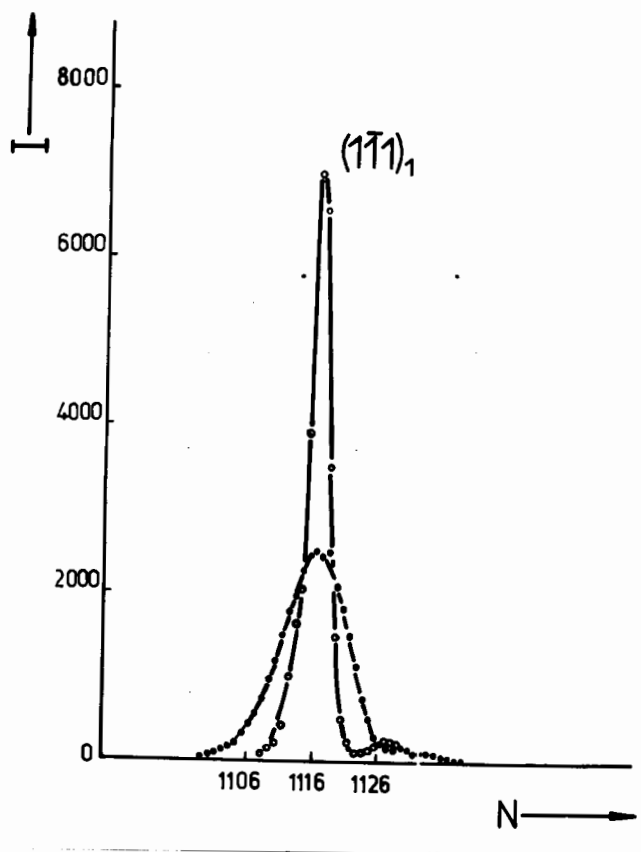


Рис.6 Влияние эффекта Доплера на длительность импульса нейтронов, отраженных от плоскости $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})_1$. I - интенсивность, N - номер канала. Число оборотов монокристалла 6720 об/мин. O - вращение против часовой стрелки, \bullet - вращение по часовой стрелке.