

С 3721
Н-695

15/5-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1847



В.В. Нитц, И. Сосновска, Е. Сосновски

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФОНОННЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ИМПУЛЬСНОМ
БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ (ИБРе)

Представлено на Международный симпозиум
по неупругому рассеянию нейтронов в твердых телах
и жидкостях. Бомбей. Декабрь 1964.

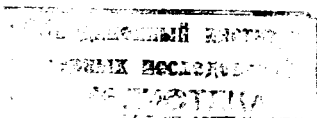
1964

P-1847

В.В. Нитц, И. Сосновска, Е. Сосновски

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФОНОННЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ИМПУЛЬСНОМ
БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ (ИБРе)

Представлено на Международный симпозиум
по неупругому рассеянию нейтронов в твердых телах
и жидкостях. Бомбей. Декабрь 1964.



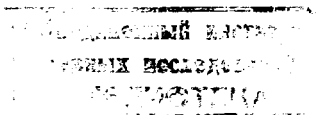
284/3

P-1847

В.В. Нитц, И. Сосновска, Е. Сосновски

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФОНОННЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ИМПУЛЬСНОМ
БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ (ИБРе)

Представлено на Международный симпозиум
по неупругому рассеянию нейтронов в твердых телах
и жидкостях. Бомбей, Декабрь 1984.



284/3

1. Введение

Дисперсионные соотношения, получаемые с помощью неупругого рассеяния тепловых нейтронов, по-прежнему представляют интерес при исследовании свойств твердого тела. Как правило, известные из литературы работы ограничены исследованиями кубических и гексагональных структур. Одним из исключений в этом смысле является работа ^{1/}, в которой приведены некоторые результаты измерений дисперсионных кривых для монокристалла висмута.

В нашей работе представлены результаты измерений, полученные для такого же кристалла с помощью нейтронного спектрометра, построенного на базе импульсного быстрого реактора (ИБРа)^{2/} в Дубне. При помощи кристаллического монохроматора получается импульсный монохроматический пучок нейтронов, неупругое рассеяние которого на исследуемом монокристалле изучается по времени пролета нейтрона. В работе получен ряд дисперсионных соотношений в направлениях $[111]$ и $[100]$. Результаты находятся в согласии с данными работы ^{1/} для направления $[111]$.

2. Эксперимент

Схема установки представлена на рис. 1. Вплотную к активной зоне реактора ^{1/} установлен плоский водяной замедлитель ^{2/} толщиной 40 мм. Импульсный пучок замедленных нейтронов проходит через канал ^{3/} в бетонной стене зала реактора и попадает на монокристалл цинка ^{x)}, выполняющий роль монохроматора ^{5/}. Монохроматический пучок нейтронов, проходя через шелевой коллиматор ^{9/}, рассеивается на образце ^{10/}. Рассеянные на угол ϕ нейтроны через вакуумный нейтронотвод ^{11/} достигают сцинтилляционного детектора ^{7/}, импульсы с которого с помощью стандартной электронной аппаратуры подаются на многоканальный временной анализатор и анализируются по времени пролета нейтронов, давая картину неупругого взаимодействия нейтронов с образцом.

Для установления монохроматора в положение брэгговского рассеяния и получения максимальной интенсивности монохроматического пучка предусмотрена возможность ди-

^{x)} Авторы благодарны А. Моджеевскому, любезно изготовившему монокристалл во II лаборатории Института ядерных исследований, Свенток-Зих, Польша.

станционного поворота монокристалла вокруг вертикальной и горизонтальной осей, а также поступательного перемещения в направлении, перпендикулярном отражающей плоскости (0001). Столик для образца и коллиматор установлены на плече, повороты которого вокруг вертикальной оси, совпадающей с осью монохроматора, позволяют менять угол рассеяния монохроматического пучка 2θ в пределах от 25° до 90° . Стальной коллиматор длиной 100 см с размерами окна 10×10 см² имеет щели шириной 6 мм. Столик с гониометром, на котором укреплен образец, установлен на конце плеча и с помощью оптической системы может поворачиваться на произвольный угол вокруг вертикальной оси, обеспечивая вместе с гониометром возможность любой ориентации образца относительно монохроматического пучка. Нейтронпровод и детектор с защитой /12/ установлены на тележке, и это позволяет менять угол рассеяния ϕ от 30° до 85° .

Использовался высокоэффективный сцинтилляционный детектор тепловых нейтронов на основе $ZnS(Ag) + B_2O_3$, обогащенный изотопом B^{10} /3/. Рабочая площадь детектора составляла 2000 см². Как видно из рис. 1, монохроматор с коллиматором помещены в бункер из баков с водой /6/, облицованный внутри слоем карбида бора. На пути прямого реакторного пучка находились свинцовая плита и толстый слой парафина /8/, смешанного с карбидом бора. Вакуумный нейтронпровод окружен защитой из смеси парафина с карбидом бора, а детектор защищен толстым слоем раствора борной кислоты. Форма вспышки монохроматических нейтронов представлена на рис. 2. Пологий спад пика обусловлен конечным временем жизни тепловых нейтронов в замедлителе.

Интенсивность счета нейтронов длиной волны $1,56 \text{ \AA}$ на выходе шелевого коллиматора составляла 10^4 нейтронов/сек при мощности реактора 2,5 квт. Монокристалл цинка имеет форму цилиндра диаметром 70 мм, длиной 210 мм, разрезанного пополам по плоскости (0001). Исследуемый монокристалл висмута ^{x)} имеет форму цилиндра диаметром 70 мм и высотой 180 мм.

3. Результаты

Висмут имеет ромбоэдрическую структуру, относящуюся к пространственной группе $R\bar{3}m$, с параметрами решетки $a = 4,746 \text{ \AA}$, $a = 57^\circ 14'$ /4/. Как видно из рисунка 3, элементарная ячейка имеет два атома с координатами (u, u, u) и $(\bar{u}, \bar{u}, \bar{u})$, где $u = 0,234 \left| \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 \right|^{1/3}$ /5/. В наших измерениях образец ориентировался так, что плоскость решетки $(01\bar{1})$ была параллельна плоскости рассеяния. Соответствующее сечение обратной решетки представлено на рис. 4 вместе с волновыми векторами нейтронов и фононов для рассеяния при углах $\phi = 84^\circ 18'$ и $\psi = 11^\circ 03'$. Отрезки, отложенные на направлении волнового вектора \vec{k} рассеянных нейтронов, выражают собой неопределенность в значении \vec{k} . Соответствующая нейтронограмма, полученная за 15 часов измерений, пред-

x) Этот уникальный монокристалл был любезно предоставлен нам С.Беднарским, изготовившим его во II лаборатории Института ядерных исследований, Свентокшиске, Польша.

ставлена на рис. 5 в качестве примера. Стрелкой указана длина волны нейтронов, падающих на образец.

Отметим, что фононные измерения производились при двух значениях длины волны падающих нейтронов: $1,56 \text{ \AA}$ и $2,03 \text{ \AA}$. На рис. 6 представлены некоторые точки дисперсионных кривых различных фононных ветвей в направлениях $[100]$ и $[111]$. Для направления $[111]$ взяты значения скорости звука из работы ^{16/}, и на графике отложены соответствующие прямые.

На графике для направления $[111]$ треугольниками нанесены данные, взятые из статьи ^{17/}. Как видно, наши результаты находятся в согласии с результатами этой работы. Можно надеяться, что анализ измерений, которые продолжаются, позволит получить более полные сведения о динамике решетки висмута.

Авторы благодарят профессора Б.Бураса за предложенную тему и научную консультацию, профессора Ф.Л.Шапиро за большое внимание и полезные обсуждения, С.Набыванца за подготовку аппаратуры и помощь в измерениях, а также В.В.Голикова за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. J.L.Yarnell et al. Bull. Am. Phys. Soc., 9, 597 (1964).
2. Г.Е. Блохин и др. Атомная энергия, 10, вып. 5, 437 (1961).
3. В.В.Голиков и др., ПТЭ, 2, 59 (1963).
4. P.Cucka and C.S.Barret. Acta. Cryst., 15, 865 (1962).
5. C.S.Barret. Austr. Journ. Phys., 13, 209 (1960).
6. Y.Eckstein et al. J. Appl. Phys., 31, 534 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1964 г.

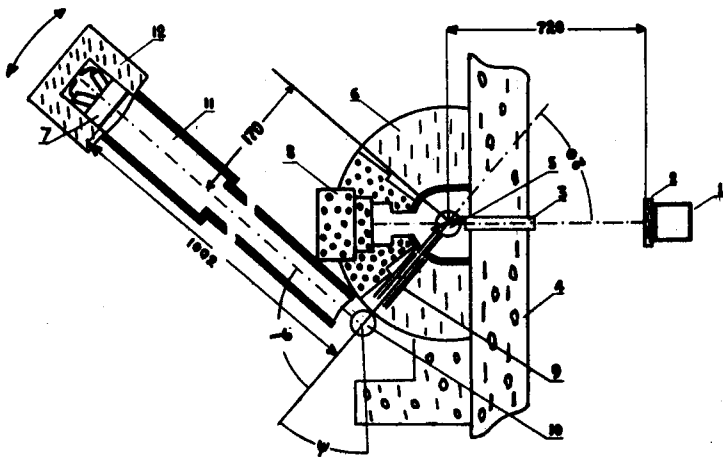


Рис. 1. Схема установки.

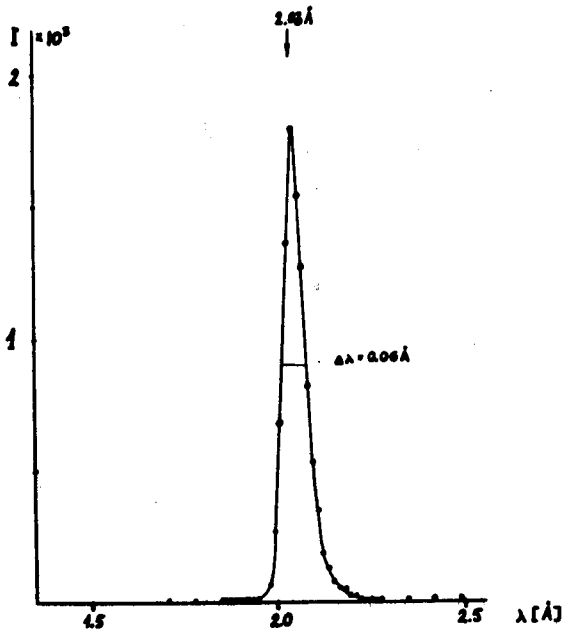


Рис. 2. Форма монохроматического пучка при длине волны $2,03 \text{ \AA}$.

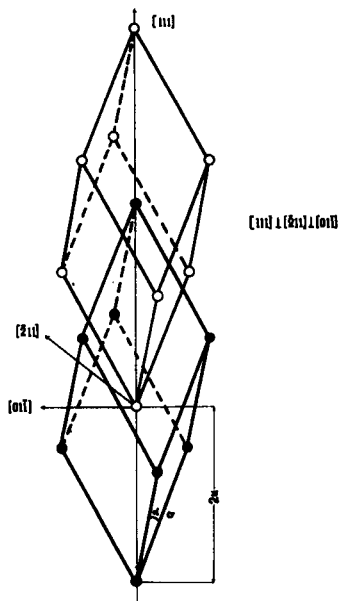


Рис. 3. Кристаллическая решетка висмута.

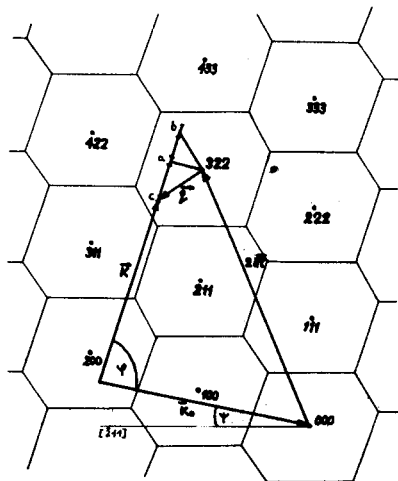


Рис. 4. Обратная решетка висмута в плоскости $(01\bar{1})$.

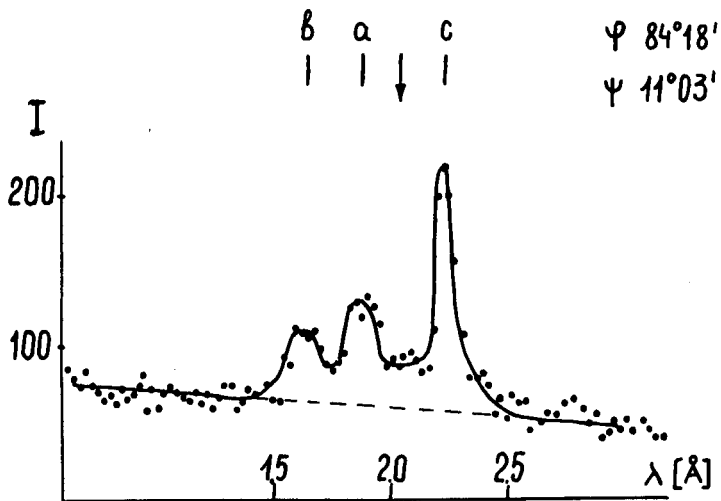


Рис. 5. Спектр рассеянных нейтронов при $\phi = 84^{\circ}18'$, $\psi = 11^{\circ}03'$, $\lambda = 2,03 \text{ \AA}$.

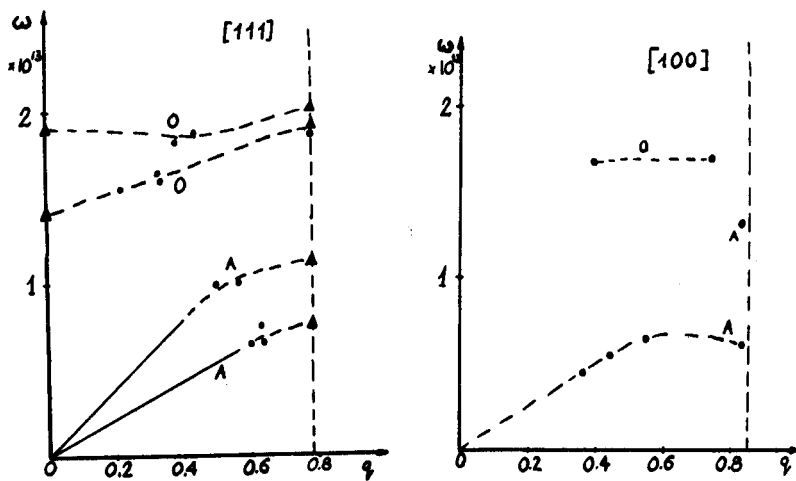


Рис. 6. Дисперсионные соотношения для висмута в направлениях $[111]$ и $[100]$.
Треугольниками нанесены данные работы /1/.

1. Введение

Дисперсионные соотношения, получаемые с помощью неупругого рассеяния тепловых нейтронов, по-прежнему представляют интерес при исследовании свойств твердого тела. Как правило, известные из литературы работы ограничены исследованиями кубических и гексагональных структур. Одним из исключений в этом смысле является работа^{1/}, в которой приведены некоторые результаты измерений дисперсионных кривых для монокристалла висмута.

В нашей работе представлены результаты измерений, полученные для такого же кристалла с помощью нейтронного спектрометра, построенного на базе импульсного быстрого реактора (ИБРа)^{2/} в Дубне. При помощи кристаллического монохроматора получается импульсный монохроматический пучок нейтронов, неупругое рассеяние которого на исследуемом монокристалле изучается по времени пролета нейтрона. В работе получен ряд дисперсионных соотношений в направлениях $[111]$ и $[100]$. Результаты находятся в согласии с данными работы^{1/} для направления $[111]$.

2. Эксперимент

Схема установки представлена на рис. 1. Вплотную к активной зоне реактора /1/ установлен плоский водяной замедлитель /2/ толщиной 40 мм. Импульсный пучок замедленных нейтронов проходит через канал /3/ в бетонной стене зала реактора и попадает на монокристалл цинка^{х)}, выполняющий роль монохроматора /5/. Монохроматический пучок нейтронов, проходя через щелевой коллиматор /8/, рассеивается на образце /10/. Рассеянные на угол ϕ нейтроны через вакуумный нейтронпровод /11/ достигают сцинтилляционного детектора /7/, импульсы с которого с помощью стандартной электронной аппаратуры подаются на многоканальный временной анализатор и анализируются по времени пролета нейтронов, давая картину неупругого взаимодействия нейтронов с образцом.

Для установления монохроматора в положение брэгговского рассеяния и получения максимальной интенсивности монохроматического пучка предусмотрена возможность ди-

х)

Авторы благодарны А. Моджеевскому, любезно изготовившему монокристалл во II лаборатории Института ядерных исследований, Сверк, Польша.

станции поворота монокристалла вокруг вертикальной и горизонтальной осей, а также поступательного перемещения в направлении, перпендикулярном отражающей плоскости (0001). Столик для образца и коллиматор установлены на плече, повороты которого вокруг вертикальной оси, совпадающей с осью монохроматора, позволяют менять угол рассеяния монохроматического пучка 2θ в пределах от 25° до 90° . Стальной коллиматор длиной 100 см с размерами окна 10×10 см² имеет щели шириной 6 мм. Столик с гониометром, на котором укреплен образец, установлен на конце плеча и с помощью оптической системы может поворачиваться на произвольный угол вокруг вертикальной оси, обеспечивая вместе с гониометром возможность любой ориентации образца относительно монохроматического пучка. Нейтронвод и детектор с защитой /12/ установлены на тележке, и это позволяет менять угол рассеяния ϕ от 30° до 85° .

Использовался высокоэффективный сцинтилляционный детектор тепловых нейтронов на основе $ZnS(Ag) + B_2O_3$, обогащенный изотопом B^{10} /3/. Рабочая площадь детектора составляла 2000 см². Как видно из рис. 1, монохроматор с коллиматором помещены в бункер из баков с водой /6/, облицованный внутри слоем карбида бора. На пути прямого реакторного пучка находились свинцовая плита и толстый слой парафина /8/, смешанного с карбидом бора. Вакуумный нейтронвод окружен защитой из смеси парафина с карбидом бора, а детектор защищен толстым слоем раствора борной кислоты. Форма вспышки монохроматических нейтронов представлена на рис. 2. Пологий спад пика обусловлен конечным временем жизни тепловых нейтронов в замедлителе.

Интенсивность счета нейтронов длиной волны $1,56\text{\AA}$ на выходе щелевого коллиматора составляла 10^4 нейтронов/сек при мощности реактора 2,5 квт. Монокристалл цинка имеет форму цилиндра диаметром 70 мм, длиной 210 мм, разрезанного пополам по плоскости (0001). Исследуемый монокристалл висмута^{x)} имеет форму цилиндра диаметром 70 мм и высотой 180 мм.

3. Результаты

Висмут имеет ромбоэдрическую структуру, относящуюся к пространственной группе $R\bar{3}m$, с параметрами решетки $a = 4,746 \text{\AA}$, $\alpha = 57^\circ 14'$ /4/. Как видно из рисунка 3, элементарная ячейка имеет два атома с координатами (u, u, u) и $(\bar{u}, \bar{u}, \bar{u})$, где $u = 0,234 |\vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3|^{1/3}$. В наших измерениях образец ориентировался так, что плоскость решетки $(01\bar{1})$ была параллельна плоскости рассеяния. Соответствующее сечение обратной решетки представлено на рис. 4 вместе с волновыми векторами нейтронов и фононов для рассеяния при углах $\phi = 84^\circ 18'$ и $\psi = 11^\circ 03'$. Отрезки, отложенные на направлении волнового вектора \vec{k} рассеянных нейтронов, выражают собой неопределенность в значении \vec{k} . Соответствующая нейтронограмма, полученная за 15 часов измерений, пред-

x) Этот уникальный монокристалл был любезно предоставлен нам С. Беднарским, изготовившим его во II лаборатории Института ядерных исследований, Свэрк, Польша.

ставлена на рис. 5 в качестве примера. Стрелкой указана длина волны нейтронов, падающих на образец.

Отметим, что фоновые измерения производились при двух значениях длины волны падающих нейтронов: $1,56 \text{ \AA}$ и $2,03 \text{ \AA}$. На рис. 6 представлены некоторые точки дисперсионных кривых различных фоновых ветвей в направлениях $[100]$ и $[111]$. Для направления $[111]$ взяты значения скорости звука из работы ^{6/}, и на графике отложены соответствующие прямые.

На графике для направления $[111]$ треугольниками нанесены данные, взятые из статьи ^{1/}. Как видно, наши результаты находятся в согласии с результатами этой работы. Можно надеяться, что анализ измерений, которые продолжаются, позволит получить более полные сведения о динамике решетки висмута.

Авторы благодарят профессора Б.Бураса за предложенную тему и научную консультацию, профессора Ф.Л.Шапиро за большое внимание и полезные обсуждения, С.Набыванца за подготовку аппаратуры и помощь в измерениях, а также В.В.Голикова за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. J.L.Yarnell et al. Bull. Am. Phys. Soc., 9, 597 (1964).
2. Г.Е. Блохин и др. Атомная энергия, 10, вып. 5, 437 (1961).
3. В.В.Голиков и др., ПТЭ, 2, 59 (1963).
4. P.Cucka and C.S.Barret. Acta. Cryst., 15, 865 (1962).
5. C.S.Barret. Austr. Journ. Phys., 13, 209 (1960).
6. Y.Eckstein et al. J. Appl. Phys., 31, 534 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1964 г.

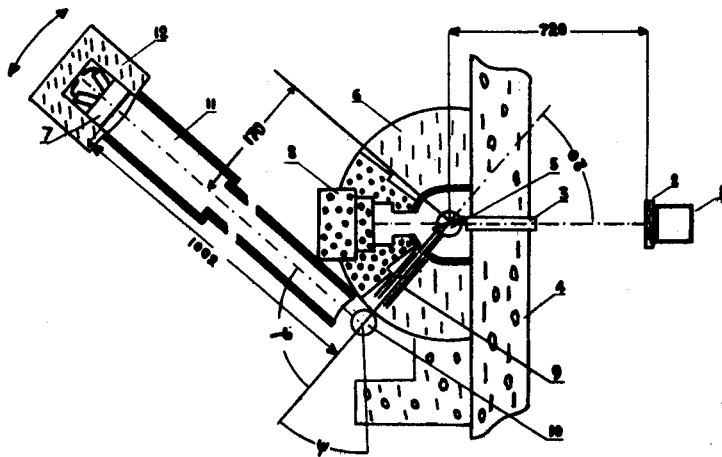


Рис. 1. Схема установки.

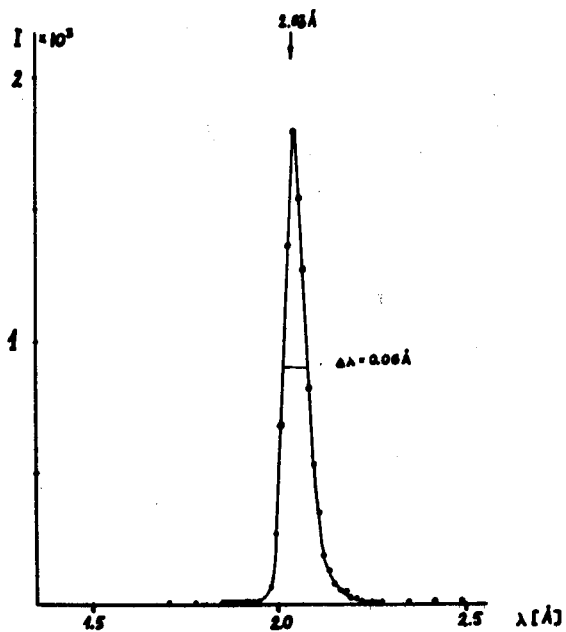


Рис. 2. Форма монохроматического пучка при длине волны $2,03\text{Å}$.

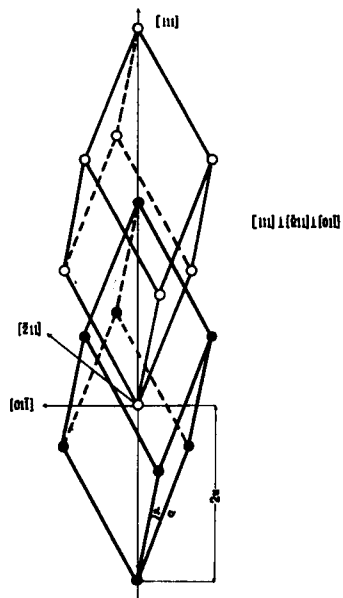


Рис. 3. Кристаллическая решетка висмута.

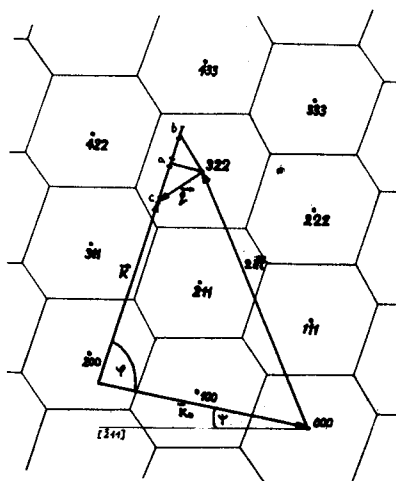


Рис. 4. Обратная решетка висмута в плоскости $(01\bar{1})$.

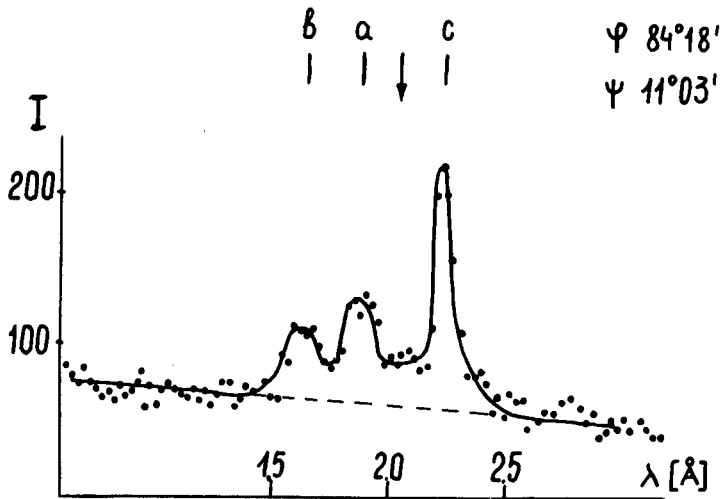


Рис. 5. Спектр рассеянных нейтронов при $\psi = 84^{\circ}18'$, $\psi = 11^{\circ}03'$, $\lambda = 2,03 \text{ \AA}$.

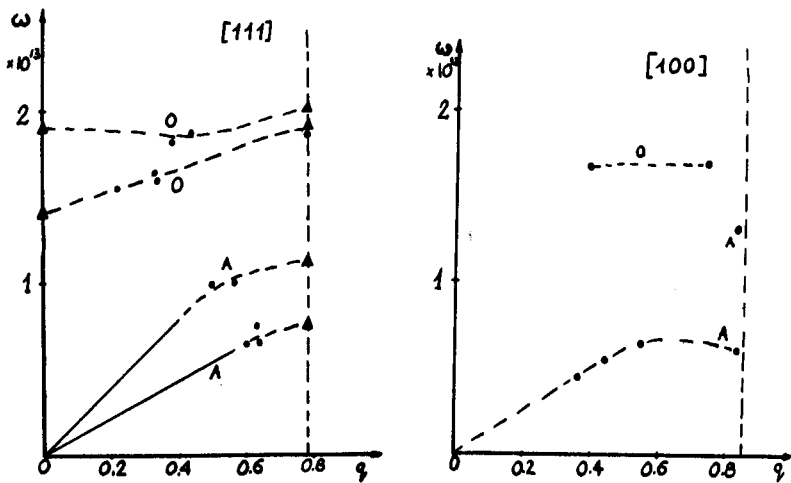


Рис. 6. Дисперсионные соотношения для висмута в направлениях $[111]$ и $[100]$.
Треугольниками нанесены данные работы /1/.