

ДИФРАКЦИЯ НЕЙТРОНОВ В ШИРОКО РАСХОДЯЩИХСЯ ПУЧКАХ – НЕЙТРОННЫЙ АНАЛОГ ЭФФЕКТА КОССЕЛЯ

В.П.Глазков, А.В.Иродова, В.А.Соменков, С.Ш.Шильштейн

Экспериментально обнаружены дифракционные эффекты при рассеянии нейтронов монокристаллами в случае, когда источник широко расходящегося излучения находится внутри кристалла – нейтронный аналог эффекта Косселя.

При взаимодействии излучения с кристаллической решеткой особое место занимает случай, когда источник излучения находится внутри кристалла. Волны, испускаемые таким источником, испытывают отражения от плоскостей решетки под углами, соответствующими условиям Вульфа – Брэгга, так что отраженные лучи образуют конусы, оси которых нормальны к отражающим плоскостям. Этот эффект хорошо известен в дифракции рентгеновских лучей (линии Косселя) и электронов (линии Кикучи) и широко используется для изучения структурных несовершенств и наиболее точных определений периодов решетки¹. Очевидно, что аналогичные эффекты должны существовать и для других видов излучения, в частности, для нейтронов. В данной статье мы сообщаем об экспериментальном наблюдении этого эффекта при рассеянии нейтронов.

Наблюдение линий Косселя возможно двумя способами: либо с возбуждением излучения в веществе самого кристалла (собственно линии Косселя), либо с использованием широко расходящегося пучка излучения от внешнего источника (псевдо-косселевские линии). Идея наших экспериментов по наблюдению псевдо-косселевских линий на нейтронах заключалась в том, чтобы использовать для получения широко расходящегося монокроматического пучка нейтронов сильный некогерентный рассеиватель, а именно, поликристаллический гидрид ванадия, который рассеивает нейтроны упруго и почти полностью некогерентно.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Монокроматический, ограниченный щелью, пучок нейтронов ($\lambda = 1,548 \text{ \AA}$) падает на спрессованную таблетку гидрида ванадия $\text{VN}_{0,8}$ или $\text{VN}_{1,8}$, помещенную внутри образца-монокристалла, установленного на оси гониометра, при

этом одна из осей зон монокристалла выведена параллельно оси гониометра, а другая — параллельно оси первичного пучка нейтронов. Съемку проводили на суперпозиционном многодетекторном нейтронном дифрактометре ДИСК² в институте атомной энергии им. И.В.Курчатова. Интенсивность рассеянных нейтронов регистрировали в диапазоне углов $2\theta = \pm 157^\circ$. В качестве образцов использовали монокристаллы с разной степенью совершенства: Zn ($\eta \approx 20'$), Cu ($\eta \approx 20'$), Ge и Si ($\eta \lesssim 1'$). Размеры кристаллов: Zn — $15 \times 30 \times 30 \text{ мм}^3$, Cu — $15 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$, Ge — $1 \times 30 \times 60 \text{ мм}^3$, Si — $20 \times 80 \times 80 \text{ мм}^3$. Размеры $VH_{1,8}$ — источника: диаметр — 5 мм, высота — 4 мм.

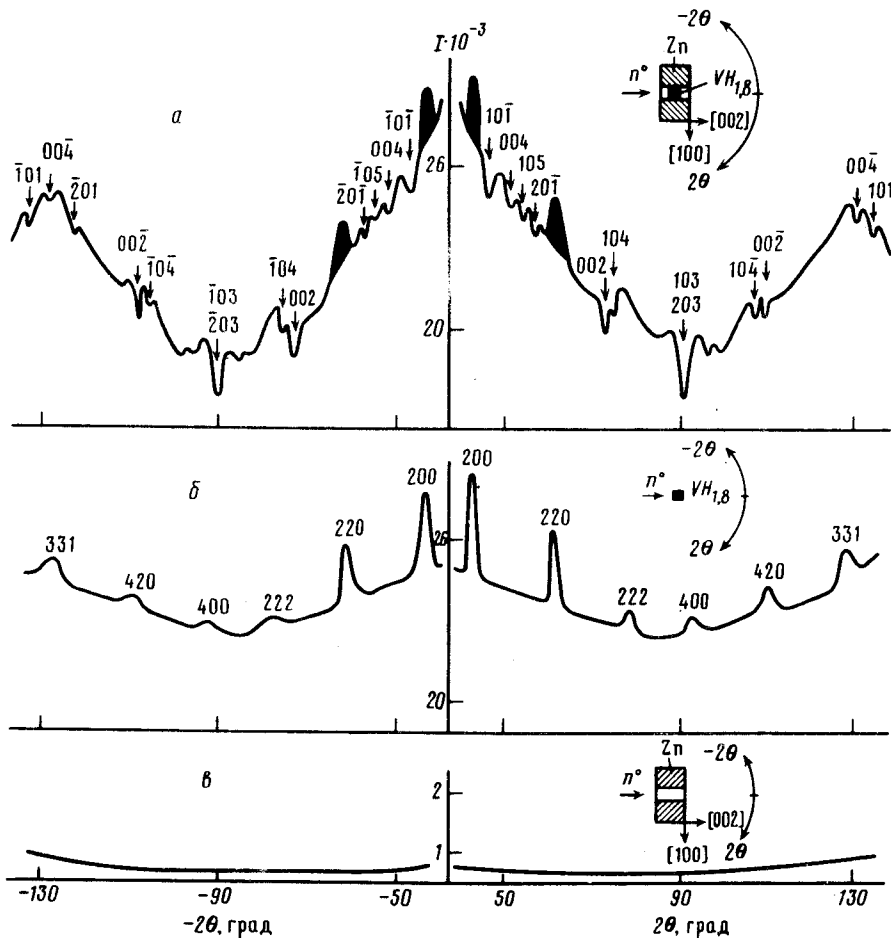


Рис. 1. а — Нейтронограмма монокристалла Zn, полученная в широко расходящемся пучке монохроматических нейтронов ($\lambda = 1,548 \text{ \AA}$), линии от источника $VH_{1,8}$ зачернены; справа вверху — схема эксперимента; б — нейтронограмма источника $VH_{1,8}$ без монокристалла Zn; в — нейтронограмма монокристалла Zn без источника $VH_{1,8}$

На картине угловой зависимости интенсивности рассеянных нейтронов, полученной от монокристалла Zn (с ориентацией: ось зоны $[010]$ параллельна оси гониометра, кристаллографическая ось $[002]$ параллельна оси первичного пучка), рис. 1, а, кроме линий от источника, отчетливо видны провалы и пики, которые естественно интерпретировать как линии просветления и усиления косселевского типа³. Контрольные эксперименты, в которых на пучке нейтронов находился только источник без монокристалла или только монокристалл без источника, показали, что провалы и пики возникают только в том случае, если внутри монокристалла находится источник, на который падает пучок монохроматических нейтронов (рис. 1, б, в). Индуцирование линий проводили стандартным методом³, строя стереографи-

ческую проекцию косселевских конусов на кристаллографическую плоскость (002). Рассчитанные положения линий (показаны стрелками на рис. 1, а) находятся в хорошем согласии с экспериментальными. Индентирование показывает, что на дифракционной картине присутствуют, главным образом, линии от кристаллографических плоскостей, принадлежащих зоне с осью $[[010]$, параллельной оси гониометра. Это естественно объясняется геометрией эксперимента, в котором детекторы с малой апертурой расположены в экваториальной плоскости. Контраст линий на дифракционной картине достигает 10% и вполне достаточен для надежного их выявления. Характерно, что он больше для провалов, чем для пиков, и зависит от положения источника относительно монокристалла, в согласии с ³. Аналогичные результаты были получены для монокристалла Cu. В то же время, мы не наблюдали этого эффекта на совершенных кристаллах Ge и Si, в экспериментах с которыми использовали несколько иную схему съемки с расположением источника не внутри кристалла, а на его поверхности. Подобная ситуация давно известна для рентгеновского псевдо-косселевского эффекта ³: отчетливые линии получаются только при использовании кристаллов с определенной степенью совершенства — для очень совершенных и очень несовершенных кристаллов они не наблюдаются.

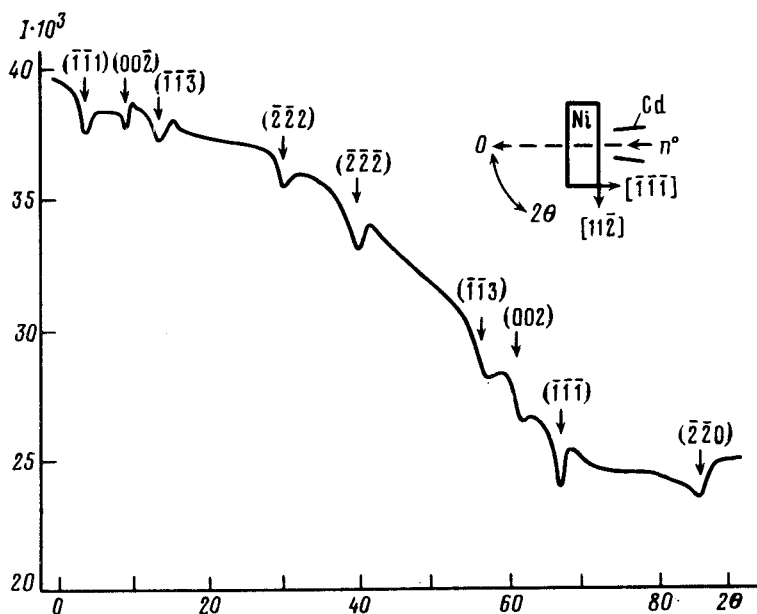


Рис. 2. Нейтронная дифракционная картина монокристалла Ni, $\lambda = 1,548 \text{ \AA}$

Помимо псевдо-косселевских линий, мы попытались наблюдать собственно линии Косселю, используя для этого водородсодержащие монокристаллы KDP, ADP и LiH. В этом случае источником некогерентного излучения становится сам кристалл. Были обнаружены очень слабые эффекты (не более 0,5%) типа пик-провал в кристаллах KDP и ADP. Наблюдение эффектов здесь затруднено не только высоким совершенством кристаллов ($\eta \leq 1'$), но также сильным ослаблением когерентных эффектов за счет некогерентного рассеяния на ядрах водорода внутри самого кристалла. В связи с этим, для более надежного наблюдения линий Косселю были использованы монокристаллы никеля с мозаичностью 20 — 30', для которых сечение некогерентного рассеяния составляет примерно половину от сечения когерентного рассеяния. Наибольший контраст, по-видимому, следует ожидать при равенстве этих сечений. На нейтронных дифракционных картинах от монокристаллов никеля наблюдались отчетливые (5%) провалы (рис. 2, там же приведена схема эксперимента), положения которых хорошо совпали с рассчитанными значениями. Аналогичные эффекты наблюдались и в расходящемся пучке (с источником внутри кристалла).

Наблюдение нейтронного аналога эффекта Косселя представляет интерес в связи с многообразным характером взаимодействия нейтронов с кристаллами: упругое магнитное и ядерное, неупругое, квазиупругое и др. В частности, в недавней работе ⁴ теоретически рассмотрена задача о появлении линий Косселя при двойном упругом некогерентном рассеянии нейтронов в идеальном кристалле. Нейтронный эффект Косселя может быть использован для решения разнообразных физических задач, в том числе, в традиционных областях применения — прецизионные определения периодов решетки и определение совершенства кристаллов. В последнем случае различие в рассеивающей способности атомов может сделать рентгеновский и нейтронный методы взаимно дополняющими.

Авторы признательны К.М.Подурцу и Ю.А.Булановскому за помощь в проведении экспериментов.

Литература

1. Каули Дж. Физика дифракции. М.: Мир, 1979, с. 313.
2. Наумов И.В., Глазков В.П., Головин А.Е., Иродова А.В., Соменков В.А., Шильштейн С.Ш. Нейтронные дифрактометры с многодетекторными суперпозиционными системами регистрации и возможности их применения. М.: изд. ИАЭ, Препринт ИАЭ-4204, 1985, с. 25.
3. Lonsdale K. Divergent-beam X-ray photography of crystals. Phil. Trans. Roy. Soc., 1947, **240**, 219.
4. Petrascheck D. Neutron Kossel effect. Phys. Rev. B, 1985, **31**, 4043.

Поступила в редакцию
29 апреля 1986 г.