Изв. АН Армянской ССР, Физика, 9, 381—388 (1974)

ЗАВИСИМОСТЬ ВИДНОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН ОТ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ВОЛН

А. О. АБОЯН, Ф. О. ЭЙРАМДЖЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

В работе экспериментально исследована зависимость видности рентгеновских интерференционных картин от разности амплитуд (интенсивностей) интерферирующих волн. Показано, что при интерферометрических исследованиях для увеличения видности интерференционных картин необходимо уменьшить разность амплитуд интерферирующих волн.

Волны относительно друг друга считаются когерентными, если разность фаз между ними не зависит от времени [1—3]. Требование постоянства разности фаз между интерферирующими волнами обусловлено тем, что для видимости интерференционной картины прежде всего необходима устойчивость последней во времени, чтобы не менялись местами интерференционные максимумы и минимумы.

Требование постоянства разности фаз между волнами осуществляется только в том случае, если

1) их частоты одинаковы,

2) разности начальных фаз не зависят от времени и имеют одинаковую поляризацию,

3) амплитуды постоянны.

Для характеристики качества интерференционных картин вводится параметр видимости, который определяется выражением

$$V = \frac{J_{max} - J_{min}}{J_{max} + J_{min}}, \tag{1}$$

где J_{max} и J_{min} — интенсивности интерференционных максимумов и минимумов. Как видно из (1), при $J_{min} = 0$ видность доходит до 100%. Однако в реальных случаях интерферирующие волны не строго монохроматичны и поэтому стопроцентной видности не может получиться. Ясно, что она зависит не только от монохроматичности (постоянства разности фаз), но и от разности амплитуд интерферирующих волн. Действительно, например, в случае двухлучевой интерференции J_{max} и J_{min} пропорциональны соответственно следующим величинам: $(a_1 + a_2)^2$ и $(a_1 - a_2)^2$, где a_1 и a_2 — амплитуды интерферирующих волн. Если $a_1 \neq a_2$, то $J_{min} \neq 0$ и, следовательно, $V < 100\%$. Более того, при $a_1 \gg a_2$ или при $a_1 \ll a_2$ видность будет мало отличаться от нуля. Таким образом, даже при строгом постоянстве разности фаз между интерферирующими волнами видность не доходит до 100%, если амплитуды не равны. С увеличением разности амплитуд видность уменьшается, а при больших разностях интерференционная картина наблюдаться не будет. В связи с развитием рентгеновской интерферометрии зависимость качества интерференционных кар-

тин от различных факторов в рентгеновской области приобретает важное значение. В излагаемой работе экспериментально исследуется зависимость качества интерференционной картины от разности амплитуд (интенсивностей) интерферирующих волн.

Методика работы

Главным препятствием в деле исследования зависимости видности интерференционных картин от интенсивностей налагаемых волн является трудность создания когерентных волн с различными амплитудами, но с одинаковыми фазами. Нетрудно убедиться в том, что трехблочный интерферометр не годится для этой цели. Действительно, в трехблочном интерферометре (рис. 1) из второго блока выходят два пучка с одинаковыми ам-

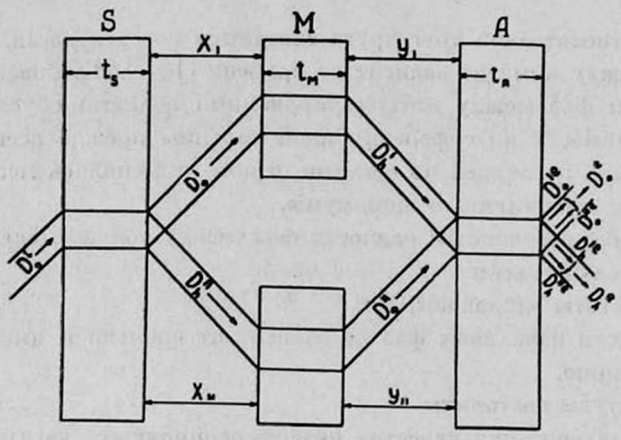

Рис. 1. Ход лучей в трехблочном интерферометре.

плитудами и фазами (I и II). Для работы, как уже сказано, необходимо изменить интенсивность одного из этих пучков. Конечно, изменить интенсивность мы можем с помощью поглотителя, установленного на пути одного из пучков, однако поглотитель вносит добавочную разность фаз, что в свою очередь меняет видимость.

Легко убедиться в том, что для этой цели может служить один из вариантов четырехблочных интерферометров, описанных в работах [4—6].

Рассмотрим четырехблочный интерферометр, расстояния между соседними блоками которого одинаковы (см. рис. 2).

Внимательный осмотр показывает, что в таком полиинтерферометре одновременно работают три трехблочных (BCGEB), (CFJGC) и (EGKHE) и два четырехблочных (BCFJGEB) и (BCGKHEB) интерферометра.

Легко убедиться в том, что интенсивности волн, налагающихся друг на друга в четвертом блоке, не равны—интенсивности одних вдвое больше интенсивностей других (интенсивности каждого из пучков $D^{II}_{oz} D^{III}_{oz}$ и $D^{II}_{hz} D^{III}_{hz}$ в два раза больше интенсивностей каждого из пучков D^{I}_{hz} и D^{IV}_{oz}. Действительно, как известно, при достаточной тол-

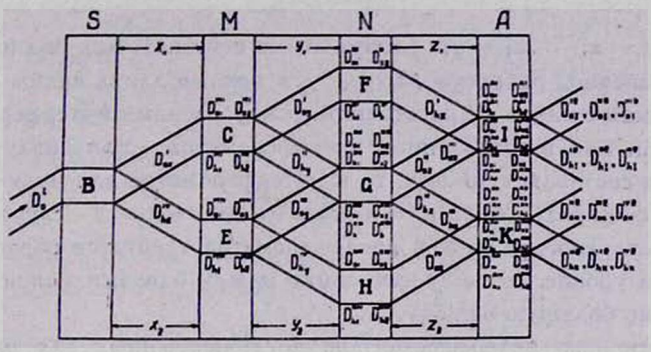

Рис. 2. Ход лучей в четырехблочном интерферометре.

щине кристалла (в непоглощающих кристаллах для осуществления полного динамического взаимодействия между волнами, распространяющимися в направлениях падения и отражения, а в поглощающих кристаллах для осуществления аномального прохождения) интенсивности пучков, выходящих в направлениях падения и отражения, равны друг другу, и каждая из них равна половине интенсивности первичного падающего пучка.

Как видно из рис. 2, в третьем блоке только в участке G атомные плоскости облучаются с двух сторон и поэтому интенсивности волн, выходящих из этого участка, в два раза больше интенсивностей волн, выходящих из остальных участков того же блока. В этом можно убедиться и строгими расчетами [6].

С целью экспериментального исследования зависимости видности интерференционных картин от амплитуд налагаемых волн из почти бездислокационного кристалла кремния был изготовлен четырехблочный интерферометр по Лауэ для MoK_α-излучения. Расстояния между соседними блоками были одинаковы и равны 12 *мм*, а толщина—3 *мм* ($\mu t = 4{,}68$), т. е. все блоки работали в аномальных режимах.

Интерферометры, предназначенные для излучения MoK_α, имеют следующие особенности.

1. Для работы в аномальной области блоки его по сравнению с блоками интерферометров, предназначенных для мягких излучений (CuK_α, CrK_α, FeK_α, CoK_α и NiK_α), должны быть гораздо более толстыми (не менее трех миллиметров).

2. К обработке поверхностей блоков интерферометра предъявляются более жесткие условия. Это необходимо во избежание паразитных рассеяний от поверхностных нарушений решетки.

3. Добавочные разности фаз, возникающие из-за неизбежного незначительного различия расстояний между соседними блоками интерферометра, выражаются формулой (см. рис. 1)

$$\Delta\varphi = 2\pi k[\delta_2'(y_{\mathrm{I}} - x_{\mathrm{II}}) - \delta_2(x_{\mathrm{I}} - y_{\mathrm{II}})], \qquad (2)$$

где x_{I}, x_{II}, y_{I} и y_{II} показаны на рис. 1, δ_2' и δ_2 — аккомодации.

Имея в виду, что $\delta \sim \lambda^2$, из (2) получим

$$\Delta\varphi \sim \lambda \Delta l, \tag{3}$$

где $\Delta l = y_{\mathrm{I}} - x_{\mathrm{II}} = x_{\mathrm{I}} - y_{\mathrm{II}}$ (допустимая ошибка). Как видно из (3), при данной добавочной разности фаз $\Delta\varphi$ чем меньше длина волны λ, тем больше допустимая ошибка Δl расстояний между блоками интерферометра. Например, если при изготовлении интерферометра для излучения CuK_α эта ошибка составляет 10 *мкм*, то в интерферометре для излучения MoK_α она может составить 22 *мкм*. Следовательно, если в случае коротких волн для поверхностей блоков интерферометра требуется обработка на более высоком уровне, то в расстояниях между блоками можно допустить сравнительно большую ошибку.

4. Юстировка интерферометров, предназначенных для работы в области коротких волн, довольно трудна из-за большого фона.

Итак, на четырехблочном интерферометре, предназначенном для излучения MoK_α, мы хотим исследовать зависимость контраста (видности) интерференционных картин от разности интенсивностей (амплитуд) волн, налагаемых друг на друга. Для этого можно воспользоваться тем обстоятельством, что в четвертом блоке (рис. 2, блок А) налагаются друг на друга волны, интенсивности которых не равны: интенсивности одних в два раза больше интенсивности других. Ясно, что даже в идеальных случаях видность интерференционных картин, полученных от этого интерферометра, не может быть больше 50%.

В этом четырехблочном интерферометре контраст (видность) полученных интерференционных картин можно увеличить задержкой одного из пучков D^{II}_{hy} и D^{III}_{oy}.

Действительно, если задержать пучок D^{II}_{hy}, то будут работать четырехблочный (BCFJGEB) и трехблочный (EGKHE) интерферометры. При задержке пучка D^{III}_{oy} будут работать четырехблочный (BCGKHEB) и трехблочный (CFJGC) интерферометры. Нетрудно убедиться в том, что в этих интерферометрах налагаются волны с одинаковыми (равными) амплитудами. То, что в этих трехблочных интерферометрах налагаются волны с одинаковыми амплитудами, известно из теории трехблочных интерферометров. А то, что это имеет место и в четырехблочных интерферометрах (BCFJGEB) и (BCGKHEB), можно показать следующим образом.

При задержке пучка D^{II}_{hy} в участке J интерферометра (BCFJGEB) налагаются волны D^{I}_{hz} и D^{III}_{oz}, которые даются следующими выражениями:

$$D^{\mathrm{I}}_{hz} = D^{l}_{0} \frac{X_1^3 X_2}{(X_1 - X_2)^3} \exp\{-2\pi ik[(x_1 + y_1)\delta_2 - \delta_2'(x_1 + y_2 + 3t)]\}, \tag{4}$$

$$D^{\mathrm{III}}_{oz} = -D^{j}_{0} \frac{X_1^2 X_2}{(X_1 - X_2)^3} \exp\{-2\pi ik[\delta_2' x_2 - \delta_2(x_2 + 3t)]\}. \tag{5}$$

При задержке пучка D^{III}_{oy} в участке K интерферометра (BCGKHEB) налагаются волны D^{IV}_{oz} и D^{II}_{hz}:

$$D_{hz}^{II} = -D_0^i \frac{X_1^2 X_2^2}{(X_1 - X_2)^3} \exp\{-2\pi ik\,[\delta_2 x_1 - \delta_2'(x_1 + 3t)]\}, \qquad (6)$$

$$D_{oz}^{IV} = D_0^i \frac{X_1 X_2^2}{(X_1 - X_2)^3} \exp\{-2\pi ik\,(x_2 + y_2)\,\delta_2' - \delta_2(x_2 + y_2 + 3t)]\}, \qquad (7)$$

где t — толщина блоков,

$$X_1 = Ge^{-v}, \quad X_2 = Ge^{v}; \qquad (8)$$

для симметричного случая прохождения $G=1$, т. к. $v=0$ (при точном угле падения Вульфа-Брэгга), следовательно,

$$X_1 = 1, \quad X_2 = -1. \qquad (9)$$

Как видно из (4)—(7), имея в виду условие (9), амплитуды этих волн равны, тогда как при работе интерферометра без задержки указанных пучков амплитуды волн $(D_{oz}^{II} + D_{oz}^{III})$ и $(D_{hz}^{II} + D_{hz}^{III})$ всегда больше, чем амплитуды D_{hz}^{I} и D_{oz}^{IV} соответственно.

Нами получены снимки от нашего интерферометра в трех видах: при нормальных условиях (без задержки пучков) и с задержками; в одном случае задерживался пучок D_{hy}^{II}, а в другом случае—пучок D_{oy}^{III}. Эти снимки приведены соответственно на рис. *3а, б, в*. Результаты микрофотометрирования этих снимков приведены на рис. *4а, б, в*.

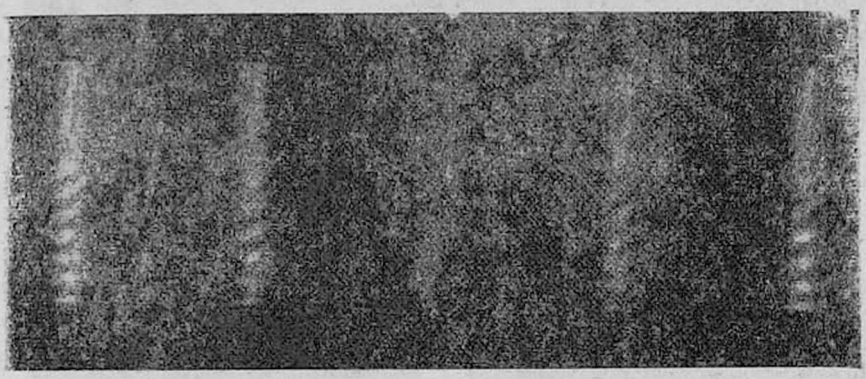

Рис. *3а*. Муаровая картина без задержки пучков.

Обсуждение результатов и выводы

Как видно из рис. *3а, б, в* и из кривых микрофотометрирования (см. рис. *4а, б, в*), в результате задержек отдельных пучков изменились не только их видимости, но и формы муаровых полос, что вполне естественно так как в результате задержки какого-нибудь определенного пучка соответствующая интерференционная картина больше не получает информации о нарушениях в тех участках кристаллических решеток, через которые проходил задержанный пучок. При задержке, например, пучка D_{hy}^{II} картина, полученная от интерферометра (EGKHE), перестает по-

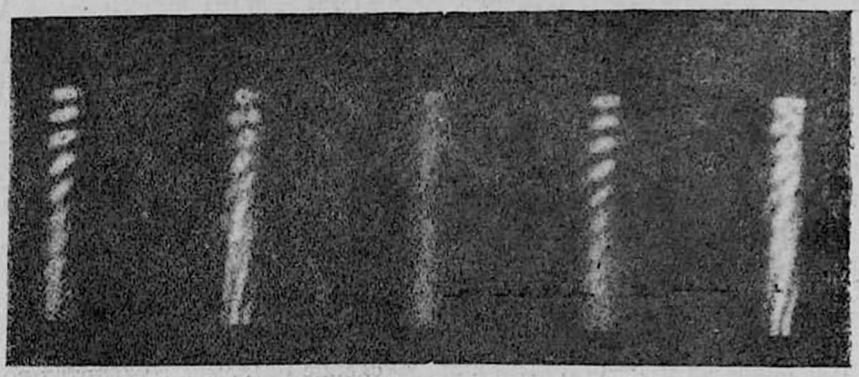

Рис. 3б. Муаровая картина при задержке пучка D^{II}_{hy}.

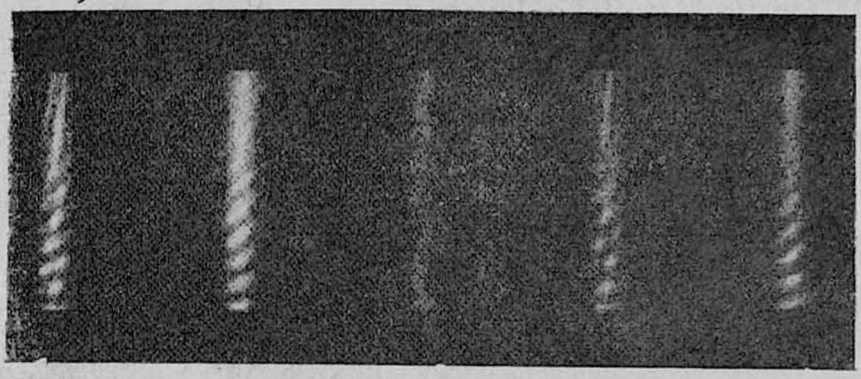

Рис. 3в. Муаровая картина при задержке пучка D^{III}_{oy}.

Рис. 4а. Результат микрофотометрирования картины 3а.

Рис. 4б. Результат микрофотометрирования картины 3б.

лучать информацию от участка C второго блока, а картина, полученная от интерферометра (BCFJGEB), больше не получает информации от этого же участка по каналу (CGJ). В случае задержки пучка D^{III}_{oy}

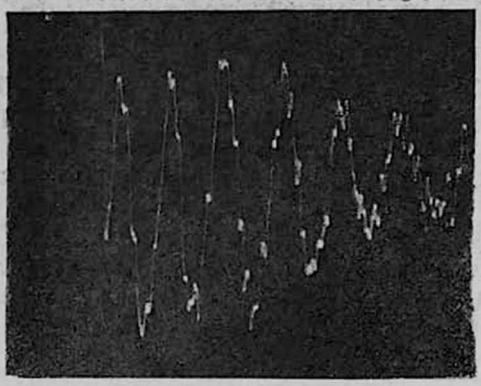

Рис. 4*в*. Результат микрофотометрирования картины 3*в*.

в аналогичном состоянии будут интерферометры (CFJGC) и (BCGKHEB) относительно участка E второго блока.

Исходя из фотометрических измерений муаровых узоров нами были оценены контрастности (видности) вышеуказанных трех видов интерференционных картин.

Для видности картины, полученной без задержки пучков, $V=36\%$, а для картин с задержкой пучков получены: при задержке пучка D_{hy}^{II} $V\approx 68\%$, а при задержке D_{oy}^{III} $V\approx 72\%$; следовательно, видность интерференционных картин, полученных с задержкой D_{hy}^{II} или D_{oy}^{III}, почти в два раза больше, чем видность картины, полученной без задержки пучков. Ясно, что увеличение видности обусловлено равенством амплитуд волн, налагаемых в последнем блоке интерферометра.

Таким образом, в результате наших экспериментальных исследований мы можем констатировать следующее.

1. С уменьшением разности амплитуд интерферирующих волн видность интерференционных картин увеличивается.

2. Каждая из волн, фигурирующих в интерферометре, содержит определенную информацию от тех участков кристаллических блоков интерферометров, через которые она проходит.

3. Реальная видность всегда меньше, чем ее теоретическое значение.

Ереванский государственный университет Поступила 5.XI.1973

ЛИТЕРАТУРА

1. *Г. С. Ландсберг*. Оптика, Изд. Наука, М.. 1965.
2. *Р. Дичберн*. Физическая оптика, Изд Наука, М., 1965.
3. *М. Борн, Э. Вольф*. Основы оптики, Изд. Наука, М., 1970.
4. *Ф. О. Эйрамджян, К. Г. Труни, П. А. Безиргянян*. Доклады АН АрмССР, LVI, 15 (1973).
5. *Ф. О. Эйрамджян, К. Г. Труни, П. А. Безиргянян*. Изв. АН АрмССР, Физика, 8, 162 (1973).

6. *P. A. Bezirganyan, F. H. Eiramjyan, K. G. Truni.* Phys. stat. sol. (a), 20, 2, (1973).

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՏԵՍԱՆԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՈՒՄԸ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑՎՈՂ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅՈՒՆԻՑ

Ա. Հ. ԱԲՈՅԱՆ, Ֆ. Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՅԱՆ

Աշխատանքում փորձնականորեն ուսումնասիրվել է ռենտգենյան ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության կախումը ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդների (ինտենսիվությունների) տարբերությունից։ Ցույց է տրված, որ ռենտգենյան ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիությունը մեծացնելու համար անհրաժեշտ է փոքրացնել ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդների տարբերությունը։

THE DEPENDENCE OF THE VISIBILITY OF *X*-RAY INTERFERENCE PATTERNS ON THE INTENSITY OF INTERFERING WAVES

A. H. ABOYAN, F. H. EIRAMDZHYAN, P. H. BEZIRGANYAN

The dependence of the visibility of *X*-ray interference patterns on the difference of amplitudes (intensity) of interfering waves is experimentally studied. It is shown, that to improve the visibility of *X*-ray interference patterns, it is necessary to reduce the difference of the amplitudes of interfering waves.