# ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВЕЩЕСТВ НА ХАРАКТЕР И ИНТЕНСИВНОСТЬ РЕНТГЕНИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ

#### М. А. НАВАСАРДЯН, В. К. МИРЗОЯН, В. В. АРУТЮНЯН

Показано, что несднородные материалы, помещенные на пути интерферирующих пучков внутри интерферометра, могут как уменьшить интенсивность всех рефлексов интерферометра, так и полностью исказить муаровую картину. Искажение муаровой картины объясняется появлением неоднородлого фазового сдвига у интерферирующих пучков. Уменьшение интенсивности объясняется отклопением некоторой части пучка от точного условия динамического отражения.

Интерферометрические методы изучения веществ дают возможность выявлять такие их характеристики, которые обуславливают изменения фаз интерферирующих волн при их прохождении через вещество или при их отражении от поверхности раздела двух сред.

Сдвиги фаз, возникающие между интерферирующими пучками в случає прохождения, определяются отношением разности оптических путей втих пучков к длине волны данного излучения. Несмотря на то, что длины долн рентгеновских лучей на три порядка меньше длин волн видимого диапазона света, вышеупомянутое отношение для рентгеновских лучей окавывается меньше, чем аналогичное отношение для видимого диапазона длян соли.

В настоящей работе изучено влияние неоднородностей веществ на интерференционную картину рентгенинтерферометра с целью выяснения возможности применения метода рентгенинтерферометрии для определения микронеоднородностей и их распределения в объеме вещества.

#### Постановка эксперимента и результаты

Плоские образцы исследуемого материала помещались на пути одного из пучков (или обоих пучков одновременно) рентгенинтерферометра, как показано на рис. 1. Образец помещался либо после блока расщепите-



Рис. 1. Ректгениктерферометр с образцом.

ля S, либо после зеркального блока M. Толщина образцов менялась от 20 до 1000 мкм. Часть образцов имела явно выраженную неоднородную

волокнистую структуру (бумага, бериллий и др.), в которой волокна имели как хаотическое, так и текстурированное распределение. Применялисьобразцы со структурой, характерной для мутных сред (тефлон). Изучались также порошки кристаллических или некристаллических веществ (*LiF*, орг-



Рис. 2. Рентгенинтерферограммы: а) при отсутствии образца внутри интерферометра; б) при помещении ка пути лучей образца бумаги в виде полосы и треугольника (d = 30 мкм); s) рефлексы ст интерферометра, на которых видна граница бумаги, помещенной внутри илтерферометра (d = 70 мкм). стекло и др.).

Прежде всего отметим, что все образцы с волокнистым строением и порошки сильно искажают интерференционную картину. Некоторые из веществ искажают картину при доб всльно малых толщинах. К примеру, для полного искажения интерференционной картины достаточно было поместить на пути лучей бумагу толщиной 30 жкм.

Если этот же образец поместить вне интерферометра перед входом или после выхода пучка за интерферометром, то он не оказывает влияинтерференции. ния на картину Встречается и такая ситуация: при просматривании образца с помощью видимого света материал (тефлон) оказывается неоднородным (изображение предмета через него не передается без искажения), а при помешении его на пути когерентных рентгеновских лучей образец не наоушает интерференционную картину, т. е. ведет себя как однородное вещество. Таким образом, интерференционную картину искажают не все образцы с явным признаком неоднородности.

На рис. 2 представлены три рентгенинтерферометрические картины. Рис. 2а получен при отсутствии образца внутри интерферометра, рис 26 получен при помещении на пути лучей внутри интерферометра неодно-

родного вещества (образцов бумаги толщиной 30 мкм). В средней и нижней частях рис. 26 видны следы фигур (полоса и треугольник) из бумаги.

Интересно, что интерференционная картина искажается также, если на пути лучей поместить шлифованную однородную пластинку оргстекла. Прозрачная и плоско-параллельная пластинка (оргстекла) не искажает интерференционную картину, так как везде имеется одинаковый сдвиг фаз [1]. Нарушение интерференционных полос. наблюдается также, если на пути лучей поместить одномерную сетку, сделанную из прозрачного (капроневого) волокна с толщиной волокон 30 мкм.

Кроме надушения интерференционной картины неоднородный образец сравнительно большой толщины, помещенный внутри интерферометра, может сильно (до 50% и более) уменьшить также интенсивность всех рефлексов (интерферирующих и неинтерферирующих, см. рис. 28). На этом рисунке видно воздействие на интенсивность рефлексов только той бумаги, которая помещена внутри интерферометра в его верхней части, она сильно уменьшила интенсивность верхней части рефлексов. Бумага перекрывает одновременно и нижнюю часть рефлексов, но с наружной стороны интерферометра.

## Обсуждение и выводы

Рентгекичтерференционная картина может искажаться по ряду причин, а именно: от неоднородного фазового сдвига между интерферирующими волнами, от неодинакового отклонения пучков в разных точках, от разного изменения состояния поляризации интерферирующих волн или от неоднородного поглощения вещества в разных участках образца.

Последние две факторе в данном случае не дают существенного вклада, так как, во-первых, колффициенты поглощения использованных веществ для *СиК*<sub>и</sub>-излучения малы (см. таблицу), во-вторых, при измене-

Таблица

Вещество	Плотность р (1/см <sup>3</sup> )	Толщина d (см)	Лин. коэф. погл. <sup>(2</sup> (см <sup>-1</sup> )	pd	Дек. пок. прел. д.106
Бумага (целлулонд)-	and the factor of				
С <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub> Бериллий (Ве)	1.5	0,005	11,4	0,06	4,78
. Плексиглас			a station	1. Caller	F. Solaria
$C_5 H_8 O_3$	0.96	0,05	6	0,3	3,47
Глицерин		18 . 18 M	The second second		
$(CH_2OH)_3$	1,26	0,1	9,6	0,96	4,41

Некоторые параметры исследованных веществ для СиКа-излучения (A=1,54 Å)

нии толщины плоского однородного образца четкость изображения полос не меняется. Это говорит о том, что поляризация существенно не меняется при прохождении излучения через вещество. Основными причинами искажения следует считать неоднородный фазовый сдвиг и неоднородное отклонение пучков от первоначального направления. Различие в фазах между двумя интерферирующими волнами возникает из-за того, что падающий пучок в определенных участках образца проходит сквозь волокна, а в других — через промежутки между волокнами. Так как области с отличающимися плотностями материала имеют малые размеры, то малыми будут и участки, значительно изменяющие фазы волн. В пределе одной интерференционной полосы скачки фаз будут меняться несколько десятков раз, по-разному в разных местах. Понятно, что это может привести к потере устойчивсй интерференционной картины. Разность фаз, возникающая между соседними точками внутри образца с отличающимися плотностями, рассчитывается по известной формуле

$$\varphi = 2\pi \frac{n_1 d_1 - n_2 d_2}{i}.$$
 (1)

Поскольку использовались плоские образцы (одинаковые d), то различие в оптических путях nd можно отнести к различию в показателях преломления n соседних участков в объеме образца, а это различие, в свою очередь, при данной длине волны  $\lambda$  зависит от различия плотностей  $\rho$  веществ (плотностей электронов) этих участков [2], т. е.

$$n = 1 - \delta = 1 - \frac{e^2 N}{2\pi m c^2} \frac{Z}{A} \varphi^{1/2}, \qquad (2)$$

где  $\delta$  — декремент показателя преломления вещества, N — число Авогадро, е и m — заряд и масса влектрона, с — скорость света, Z и A — соответственно атомный номер и атомный вес составляющих данное вещество атомов.

Максимальная разность фаз, рассчитанная нами по формуле (1), при которой все еще полностью не нарушается интерференционная картина, равна 30°. Неодинаковое отклонение также может привести к некоторому искажению интерференционной картины, так как в данную точку будут попадать некогерентные друг с другом пучки.

Уменьшение интенсивности всех дифрагированных пучков объясняется отклонением некоторого процента излучения от точного условия динамического отражения внутри интерферометра. При угле отклонения излучения более чем на 10" они будут сильно поглощаться в объеме следующего блока интерферометра, так как пучки являются аномально-проходящими [3]. Такие же отклонения претерпевают дифрагированные пучки и при помещении образца вне интерферометра (нижняя часть рис. 20), го эти отклонения не влияют на их интенсивность, так как отклоненные излучения остаются в общем потоке дифрагированного пучка. Отклонение излучения межет происходить как из-за преломления пучка на границах неоднородностей (волокно, зерно), так и из-за полного внешнего отражения. В обоих случаях интенсивности неотклоненного и отклоненного излучений—сравнимые величины.

Для выяснения роли факторов неоднородного фазового сдвига и отклонения пучка в искажении интерференционной картины и в уменьшении интенсивности дифрагированных пучков нами были поставлены дополнительные эксперименты. Кювета, внутренние поверхности которой были отшлифованы, помещалась на пути лучей внутри интерферометра. При этом интерференционная картина исчезала. При заполнении кюветы глицерином, т. е. веществом, показатель преломления которого близох к похазателю преломления оргстекла (см. таблицу), искаженная картина восстанавливалась. Наличие отклоненного пучка. вызванного неоднородностью вещества. и наличие преломленного пучка проверялось прямым способом с помощью двухкристального спектрометра, собранного по схеме Л-Л, см. рис. 3 (в качестве монохроматора *m* и анализатора *n* использовались пластинки *Ge* толщиной 0,45 мм, отражения получались от плоскости (220)). Для этого неоднородный образец ставился на пути лучей между монохроматором и анализатором в положение 1 (рис. 3). Поворачивая анализатор во-



Рис. 3. Схема двухкристального спектрометра по Л-Л.

круг оси [112] (нормали к плоскости чертежа), детектором  $\mathcal{A}$  регистрировалась китенсивность отраженного пучка и с помощью ЭПП-09 снимался график углового распределения падающего на анализатор рентгеновского пучка (см. рис. 4*a*, *б*, *в*).



Рис. 4. Угловое распределение падзющего на анализатор пучка: а) без образца на пути лучей; б) образец (бумага) в положении 1; в) образец (бумага) перед входом детектора; г) волохна капроповой сетки перпендикулярны к плоскости падения в положении 1; д) волскна параллельны: плоскости падения в положении 1; е) сетка перекрывает вход детектора; по вертикальной оси отложена интенсивность в произвольном масштабе.

Как видно из графиков, угловая ширина пучка при помещении образца (бумаги толщиной 0,3 мм) на пути лучей (рис. 46) почти в два раза больше, чем аналогичная ширина при отсутствии образца (рис. 4а). Уменьшение интенсивности при помещении образца перед детектором (рис. 4 в, е) обусловлено обычным поглощением. Картина, аналогичная рис. 4б, получается при использовании в качестве образца порошка кристаллического или аморфного вещества. Если в качестве образца использовать одномерную многослойную сетку из прозрачного для рентгеновского луча волокна, то влияние сетки на угловую ширину пучка различно при разной ориентации нитей относительно плоскости падения, а именно, если нити сетки перпендикулярны к плоскости падения, то ширина отклоненного пучка больше (рис. 41), а при параллельности нитей сетки этой плоскосги ширина отклоненного пучка меньше (рис. 4д) (высота графика соответственно выше и ниже). Малая ширина (большая высота графика пучка, рис. 4*д*) при помещении нитей в плоскости падения обусловлена тем, что отклоненные пучки находятся в вертизальной плоскости, и такое отклонение не нарушает динамического условия отражения.

Вышесказанное говорят о том, что нити действуют как цилиндрические линзы. При большом угле падения угловая ширина преломленных лучей настолько увеличивается, что превосходит наибольшую угловую область динамического отражения, и пучок сильно поглощается в последующем кристалле (блоке). Такой механизм действует и тогда, когда неоднородные участки образца являются зернами.

Ненарушение интерференционной картины мутной средой (тефлоновой лентой) объясняется малым отличием показателей преломления рентгеновских лучей в смежных участках в объеме тефлона (для видимого света показатели преломления этих участков больше отличаются друг от друга), и это малое отличие оказывается недостаточным для создания большого сдвига фаз и поэтому не происходит нарушения интерференционной картины.

Ереванский физический институт

Поступила 30.111.1979

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Hart. Proc. Roy. Soc., A346, 1 (1975).

2. М А. Блохин. Физика рентгеновских лучей, Гостехиздат, М., 1957.

3. G. Borrmann. Z. Phys., 127, 297 (1950).

# ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՌԵՆՏԳԵՆԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐԻ ՏԵՍՔԻ ԵՎ ԴԻՖՐԱԿՑՎԱԾ ՓՆՋԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

#### Մ. Ա. ՆԱՎԱՍԱՐԴՏԱՆ, Վ. Ղ. ՄԻՐԶՈՏԱՆ, Վ. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Աշխատանջում ցույց է տրված, որ եβե ոենագենկետերֆերոմետրի մեջ կետերֆերող փնջերի ճանապարհին տեղադրվում է անհամասեռուβյուն ունեցող որևէ միջավայր, ապա մինչ այդ լավ արտահայտված կնտերֆերենցիոն շերտերը անհետանում են։ Փոքրանում է նաև դիֆրակցված փնչերի կնտենսիվությունը։ Ինտերֆերենցիոն շերտերի անհետացումը և կնտենսիվության փոքրացումը բացատրվում է նրանով, որ նմուշի տարբեր մասերը, տարբեր բեկման ցուցիչներ ունենալու պատճառով, առաջացնում են փնջի տարբեր չափի խոտորումներ և ֆաղային շեղումներ։ Բեկման ցուցչի անհամասեռությունը վերացնելիս վերականգնվում են և ինտերֆերնեցիոն պատկերը, և փնջերի կնտենսիվությունը։

# THE INFLUENCE OF MEDIUM INHOMOGENEITIES ON THE NATURE AND INTENSITY OF AN X-RAY INTERFERENCE PATTERN

## M. A. NAVASARDYAN, V. K. MIRZOYAN, V. V. ARUTYUNYAN

It was shown, that the inhomogeneities of material in the path of interfering beams inside the interferometer can both reduce the intensity of all the interferometer reflexes and completely distort the moire pattern. The distortion of the moire pattern could be explained by the appearance of an inhomogeneous phase shift in interfering beams, while the reduction is due to the deviation of a beam part from the exact Bragg condition.

270