ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВЫХ ЛУЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ МУАРОВЫХ УЗОРОВ

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

В работе предложены рентгеноинтерферометрические методы определения показателя преломления вещества с помощью изменения муаровых картин.

Среди экспериментальных методов определения показателя преломления рентгеновых лучей особое место занимают интерферометрические методы, которые отличаются большей точностью. Эти методы были разработаны в последние годы в связи с развитием рентгеновской интерферометрии [1—14].

В работе [8] были измерены показатели преломления рентгеновых лучей ионизационным методом с помощью интерферометра по Лауэ. В этой работе движением двух клинов с определенными углами преломления, расположенных между блоками интерферометра, получались полосы равной толщины, и измерением расстояния между этими полосами определялся показатель преломления вещества клинов.

В излагаемой работе предлагается интерферометрический метод определения показателя преломления рентгеновых лучей. В основе этого метода лежит изменение периода муаровых картин при помещении между блоками интерферометра тела, показатель преломления которого необходимо определить.

§ 1. Изменение муаровых узоров при помещении плоскопараллельной пластинки на пути лучей в интерферометре

Часто от интерферометра по Лауэ получаются муаровые узоры (см. рис. 1). Несомненно, что эти полосы возникают в результате интерференции двух волн, распространяющихся в интерферометре. Действительно, если задержать один из пучков, то муаровая картина исчезает, что видно из рис. 2, где показаны схема задержки пучка свинцовым экраном и соответствующая муаровая картина.

Далее, помещая на пути одного из пучков плоскопараллельную пластинку, получим муаровую картину, изображенную на рис. 3. Как видно из последнего рисунка, в результате прохождения лучей через пластинку все части полос, обусловленные этими лучами (проходящими через пластинку), одинаково смещены относительно частей полос, обусловленных лучами, проходящими вне пластинки. Ясно, что эти смещения вызваны добавочными разностями фаз

$$\alpha = kd(n_0 - n), \tag{1}$$

возникающими между волнами, проходящими через пластинку и вне ее. В выражении (1) n₀— показатель преломления воздуха, n — показатель





Рис. 2. Схема задержки части одного пучка и полученная муаровая картина.



Рис. 3. Схема интерферометра с пластинкой и соответствующая муаровая картина.

преломления рентгеновых лучей для вещества пластинки, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волно-

вой вектор, d — толщина пластинки.

Так как между соседними полосами (максимумами) разность фаз равна 2π, то мы можем определить α с помощью следующего соотношения:

$$\alpha = 2\pi \, \frac{\Delta l}{l_0} \,, \tag{2}$$

где l_{0} расстояние между соседними полосами муаровой картины без пластинки, $\triangle l$ — смещение полос, вызванное пластинкой.

Как видно из (1) и (2), добавочные разности фаз, а следовательно, и смещения пропорциональны толщине пластинки.

Для показателя преломления из выражений (1) и (2) имеем

$$n=n_0-\frac{\Delta l}{l_0d}\lambda,$$

откуда, учитывая, что n=1-8 и n₀=1-8₀, получим

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0 d} \lambda + \delta_0. \tag{3}$$

Как видно из (3), точность определения показателя преломления зависиг от точности измерения величин d, l_0 и $\triangle l$. Для толстых пластин и большом $n \bigtriangleup l_0$ может оказаться больше, чем l_0 . Во избежание недоразумений удобно d выбрать так, чтобы удовлетворялось соотношение $\bigtriangleup l < l_0$; тогда $\alpha < 2\pi$. Необходимо отметить, что если интерферометр не дает муаровых картин (однородное распределение интенсивности), то введение пластинки не меняет распределения интенсивности, и с помощью таких интерферометров по предлагаемому методу невозможно определить показатель преломления.

§ 2. Изменение муаровых узоров при внесении клинообразного вещества в интерферометр

Помещая на пути одного из пучков клин, как это показано на рис. 4, получим смещение части муаровых полос, обусловленных лучами, проходящими через клин. Однако если в случае плоскопараллельной пластинки все точки смещенных частей полос смещались одинаково, то в случае клина не все эти точки смещаются одинаково. Дело в том, что в рассматриваемом случае разные лучи в клине проходят разные пути.



Рис. 4. Интерферометр с клином и соответствующая муаровая картина.

Для определения показателя преломления клинообразного тела предположим, что блоки интерферометра идеальны (не дают муара), и, фактически, полученные муаровые узоры — результат внесения в один из пучков тела определенной формы (рис. 5) с показателем преломления клина (*n*).



Рис. 5. Схема интерферометра с предполагаемым телом.

Если высота ($\triangle h$) и ширина ($\triangle a$) пучка очень малы (рис. 6), то для данного сечения пучка тело можно считать клинообразным с постоянным преломляющим углом φ_0 , а полосы — вертикальными или горизонтальными в зависимости от расположения внесенного клина. Тогда первый максимум получается для луча, который проходит через вершину клина (разность фаз между волнами в лучах *а* и *а* равна нулю, рис. 7), а второй —



Рис. 6. Муаровые узоры.



Рис. 7. Схема интерферометра с клином и с полосами равной толщины.

на расстоянии l_0 (разность фаз в лучах E и E' равна 2π , или разность оптических путей равна λ)

$$xn_0 - xn = \lambda \tag{4}$$

$$(\delta - \delta_0) x = \lambda. \tag{5}$$

ИЛИ

Так как $x = 2 l_0 \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2}$, то (5) можно переписать в виде

 $2\left(\delta-\delta_0\right) l_0 \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} = \lambda,$

откуда

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\lambda}{2\left(\delta - \delta_0\right) l_0}.$$
 (6)

Далее, с внесением нашего истинного клина (с преломляющим углом ф) период полос меняется — уменьшается или увеличивается в зависимости от расположения клина относительно интерферометра (позиции *а* и *Б* на рис. 4) — и для соседних максимумов получаем

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi + \varphi_0}{2} = \frac{\lambda}{2 \, l \, (\delta - \delta_0)}, \qquad (7)$$

где *l* — период полос при наличии клина. После простых преобразований из (6) и (7) получим

$$\delta = \frac{\lambda}{4 \, l_0 l \, \mathrm{tg} - \frac{\varphi}{2}} \left(l_0 - l + \sqrt{(l_0 - l)^2 - 4 \, l_0 l \, \mathrm{tg}^2 - \frac{\varphi}{2}} \right) + \delta_0. \tag{8}$$

Зная длину волны рентгеновского излучения (λ), преломляющий угол клина (ϕ) и измеряя периоды интерференционных полос (муаровых узоров) без клина (l_0) и с клином (l), можно определить показатель преломления данного вещества.

Для вещества с достаточно большим единичным декрементом преломления (при достаточно большом δ) с экспериментальной точки зрения удобнее изготовить клин с меньшим преломляющим углом. Поэтому для больших δ (малых ϕ) вторым членом под корнем можно пренебречь по

сравнению с первым и заменив tg $\frac{\varphi}{2}$ на $\frac{\gamma}{2}$, из (8) получим

$$\delta = \frac{\lambda \left(l_0 - l\right)}{l_0 l \varphi} + \delta_0. \tag{9}$$

И, наконец, если вещество клина такое, что имеет место $l_0 \gg l$, из (9) получаем

$$\delta = \frac{\lambda}{l\omega} + \delta_0. \tag{10}$$

Это есть выражение для вычисления единичного декремента преломления клина (с малым преломляющим углом), когда блоки интерферометра идеальные и не дают муаровых картин.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Для определения показателя преломления веществ были изготовлены. интерферометр по Лауэ из бездислокационного монокристалла кремния с отражениями 220, плоскопараллельные пластинки из материалов, показатели преломления которых нужно было определить (полиметилметакрилат, кремний, алюминий). В опытах применялось излучение CuK_{α} . Точность наших измерений для разных веществ была неодинаковой и составляла 0,5—2%.

Значения единичных декрементов преломления, найденные вышеописанными методами, приведены в таблице. В первом столбце приведены значения декрементов (8·10⁶), вычисленных по методу плоскопараллель-

Таблица

Вещество	Пластинка	Клин		Результаты дру-
		формула (8)	формула (9)	гих авторов
Полиметилметакрилат Кремний Алюминий	4,18 7,705 8,561	4,039 7,647 8,358	4,023 7,634 8,269	4,106 7,46 8,32

Значения единичных декрементов преломления некоторых веществ

ной пластинки с помощью формулы (3). Во втором и третьем столбцах приведены значения единичных декрементов, вычисленных по формулам (8) и (9). В четвертом столбце приведены результаты измерений других авторов [8].

На основе приведенных результатов можно сделать следующие выводы.

 Результаты наших измерений и вычислений для единичного декремента преломления с достаточной точностью совпадают с измерениями [8].

2. Сравнение результатов показывает, что приближенными формулами (9) и (10) (особенно (10), вычисленные значения с помощью которой нами не приведены из-за больших отклонений) можно пользоваться только при больших декрементах преломления и малых преломляющих углах клина.

Таким образом, предлагаемый метод дает возможность определить показатели преломления с большой точностью, а значительные отклонения от результатов работы [8] объясняются тем, что в указанной работе движение клинов вносит определенную ошибку.

Ереванский государственный университет

Поступила 15.ХІ.1973

ЛИТЕРАТУРА

U. Bonse, M. Hart. Appl. Phys. Lett., 6, 8 (1965).
U. Bonse, M. Hart. Appl. Phys. Lett., 7, 4 (1965).
U. Bonse, M. Hart. Z. für Physik, 188, 154 (1965).
U. Bonse, M. Hart. Z. für Physik, 190, 455 (1966).
U. Bonse, M. Hart. Z. für Physik, 194, 1 (1966).
U. Bouse, M. Hart. Acta Cryst, A24, 240 (1968).
U. Bonse, E. te Kaat. Z. für Physik, 214, 16 (1968).

8. U. Bonse, H. Hellkötter. Z. für Physik, 223, 345 (1969).

9. D. C. Creagh, M. Hart. Phys. stat. sol., 37, 753 (1970).

10. U. Bonse, E. te Kaat. Z. für Physik, 243, 14 (1971).

11. M. Kurigama. Acta Cryst., A27, 273 (1971).

12. Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безирганян. Изв. АН АрмССР, Физика, 6, 453 (1970).

13. Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безирганян. Изв. АН АрмССР, Физика, 6, 280 (1971).

14. Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безирганян. Изв. АН АрмССР, Физика, 7, 215 (1972).

ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԲԵԿՄԱՆ ՑՈՒՑՉԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՄՈՒԱՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Հ. ԷՑՐԱՄՋՑԱՆ, S. Հ. ԷՑՐԱՄՋՑԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՑԱՆ

Առաջարկված և իրականացված են ռենտգենաինտերֆերոմետրիկ մեթոդներ Նյութերի բեկման ցուցչի չափման համար։ Ստացված են բանաձենը հարթ ղուգահեռ թիթեղի և սեպաձև մարմինների Նյութերի բեկման ցուցչի չափման համար։ Այդ եղանակներով չափված են օրգանական ապակու (պոլիմեթիլմետակրիլատի), սիլիցիումի և ալյումինիումի բեկման ցուցիչների միավոր ղեկրեմենսաները։

MEASUREMENT OF THE REFRACTIVE INDEX FOR X-RAYS BY MEANS OF MOIRE PATTERNS

F. H. EIRAMJYAN, T. H. EIRAMJYAN, P. H. BEZIRGANYAN

To measure the refractive index of different substances X-ray interferometric methods are proposed and realized. The formulae for the refractive indeces of the wedge and the plane-parallel plate are obtained. The refractive densities of lucite (polymethylmethacrylate), silicon and aluminum are measured by the proposed methods.