

УДК 539.22.082.79 : 539.125.5 + 539.26/27

ФИЗИКА

Ф. О. Эйрамджян, К. Г. Труни, П. А. Безирганян

Интерферометр с четырьмя блоками

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. Гарибяном 6/VII 1972)

В предложенных интерферометрах (¹⁻⁵) обычно дифрагированные лучи налагаются после двух операций (отражений и прохождений). Так, например, в интерферометрах по Лауэ первичный пучок в первом блоке (расщепитель) расщепляется на два пучка, во втором блоке (зеркало) эти пучки отражаются прохождением, а в третьем блоке (анализатор) они рекомбинируются, откуда и получают наблюдаемые интерференционные картины. В других интерферометрах — в интерферометрах по Брэггу (²), Лауэ-Брэгг-Лауэ (³) и Брэгг-Лауэ-Брэгг (⁴) аналогичные наложения происходят после двух отражений или после одного отражения и одного прохождения по Брэггу или по Лауэ. В каждом из этих интерферометров зеркало состоит или из одного блока (¹), или из двух отдельных блоков (¹), от каждого из которых отражается только один из расщепленных в расщепителе пучков.

В излагаемой работе описывается интерферометр с четырьмя блоками, который содержит в себе несколько различных интерферометров и который дает возможность провести более обширные интерферометрические исследования.

Допустим, имеем интерферометр с четырьмя блоками (рис. 1,а), который удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) отражающие плоскости во всех блоках строго параллельны и перпендикулярны к большим поверхностям и плоскости чертежа;
- 2) толщины всех блоков одинаковы и таковы, что в первом блоке происходит только аномальное прохождение.

Для нахождения интенсивностей пучков, выходящих из интерферометра, напишем граничные условия на его поверхностях.

1. На первой поверхности первого блока (расщепитель):

$$D_0^i \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}) = D_{01}^s \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^s \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r});$$

$$0 = D_{h1}^s \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^s \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}). \quad (1)$$

2. На второй поверхности первого блока:

$$\begin{aligned} D_{02} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) &= D_0^x \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}); \\ D_{h2} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}) &= D_h^x \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}). \end{aligned} \quad (2)$$

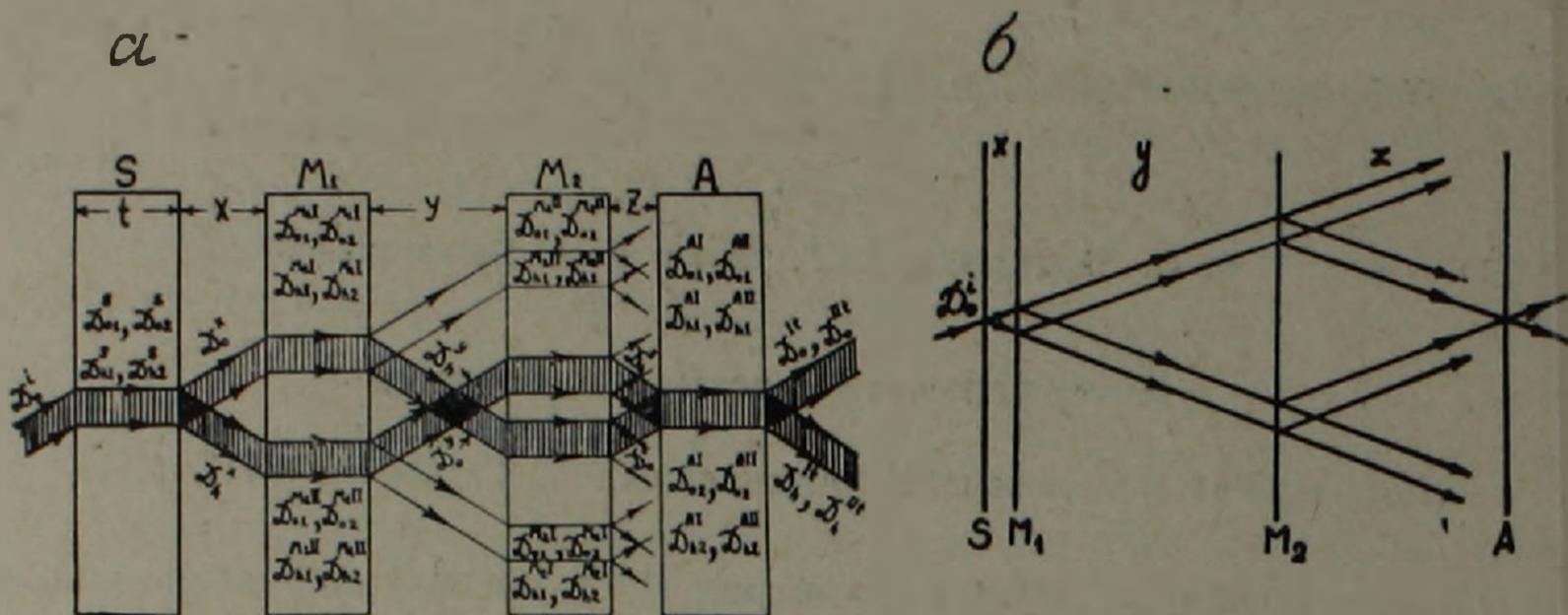


Рис. 1. а — четырехблочный интерферометр (неналагающиеся волны показаны до последнего блока). S — расщепитель; M_1 — первое зеркало; M_2 — второе зеркало; A — анализатор

$$b - x + z = y$$

3. На первой поверхности первого зеркала (второй блок):

а) путь I

$$D_0^x \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}) = D_{01}^{M_1 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{M_1 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r});$$

$$0 = D_{h1}^{M_1 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{M_1 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}). \quad (3)$$

б) путь II

$$D_h^x \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}) = D_{h1}^{M_1 II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{M_1 II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}),$$

$$0 = D_{01}^{M_1 II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{M_1 II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}). \quad (4)$$

4. На второй поверхности первого зеркала (второй блок):

а) путь I

$$D_{h2}^{M_1 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}) = D_h^y \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}); \quad (5)$$

б) путь II

$$D_{02}^{M_1 II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) = D_0^y \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}). \quad (6)$$

5. На первой поверхности второго зеркала (третий блок):

а) путь I

$$D_h^y \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}) = D_{h1}^{M_2 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{M_2 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}),$$

$$0 = D_{01}^{M_2 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{M_2 I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}); \quad (7)$$

б) путь II

$$D_0^y \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}) = D_{01}^{M,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{M,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}),$$

$$0 = D_{h1}^{M,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{M,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}). \quad (8)$$

6. На второй поверхности второго зеркала (третий блок):

а) путь I

$$D_{02}^{M,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) = D_0^z \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}): \quad (9)$$

б) путь II

$$D_{h2}^{M,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}) = D_h^z \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}) \quad (10)$$

7. На первой поверхности анализатора (четвертый блок):

а) путь I

$$D_0^z \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}) = D_{01}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}),$$

$$0 = D_{h1}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}); \quad (11)$$

б) путь II

$$D_h^z \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}) = D_{h1}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h1} \vec{r}) + D_{h2}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}),$$

$$0 = D_{01}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{01} \vec{r}) + D_{02}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}). \quad (12)$$

8. На второй поверхности анализатора (четвертый блок):

а) путь I

$$D_{02}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) = D_0^{I'} \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}),$$

$$D_{h2}^{A,I} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) = D_h^{I'} \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}); \quad (13)$$

б) путь II

$$D_{02}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{02} \vec{r}) = D_0^{II'} \exp(-2\pi i \vec{k}_0^i \vec{r}),$$

$$D_{h2}^{A,II} \exp(-2\pi i \vec{K}_{h2} \vec{r}) = D_h^{II'} \exp(-2\pi i \vec{k}_h^i \vec{r}). \quad (14)$$

Величины, фигурирующие в формулах (1—14) имеют обычные смыслы.

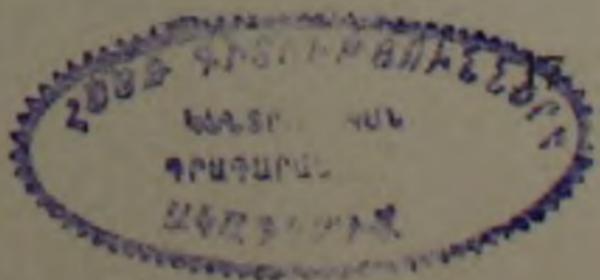
В рассматриваемом случае условия непрерывности фаз имеют следующий вид:

$$\vec{K}_{01} = \vec{k}_0^i - k g_1 \vec{n}; \quad \vec{K}_{h1} = \vec{k}_h^i - k g_1' \vec{n}; \quad (15)$$

$$\vec{K}_{02} = \vec{k}_0^i - k g_2 \vec{n}; \quad \vec{K}_{h2} = \vec{k}_h^i - k g_2' \vec{n}.$$

Далее, имея в виду соотношение

$$\vec{K}_h = \vec{K}_0 + \vec{R}_h$$



и обозначения

$$X_1 = D_{h1}/D_{01}, \quad X_2 = D_{h2}/D_{02}$$

из условий (1—14) для амплитуд волн, выходящих из интерферометра, получаем:

$$D_0^{II} = -\frac{X_1^3 X_2}{(X_1 - X_2)^4} \exp\{-2\pi i k |g_2 y - g_2(y + 4t)|\}, \quad (16)$$

$$D_h^{II} = -\frac{X_1^3 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp\{-2\pi i k |g_2(x + z) - g_2(x + z + 4t)|\}, \quad (17)$$

$$D_0^{III} = \frac{X_1^2 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp\{-2\pi i k |g_2(x + z) - g_2(x + z + 4t)|\}, \quad (18)$$

$$D_h^{III} = \frac{X_1^2 X_2^3}{(X_1 - X_2)^4} \exp\{-2\pi i k |g_2 y - g_2(y + 4t)|\}. \quad (19)$$

Из (16—19) для отношений амплитуд налагаемых волн получаем

$$D_0^{II}/D_0^{III} = -\frac{X_1}{X_2} \exp\{-2\pi i k |g_2(x + z - y) - g_2(x + z - y)|\}, \quad (20)$$

$$D_h^{II}/D_h^{III} = -\frac{X_1}{X_2} \exp\{-2\pi i k |g_2(y - x - z) - g_2(y - x - z)|\}. \quad (21)$$

Как известно, для максимальной контрастности интерференционной картины необходимо равенство амплитуд налагаемых волн, а для максимального усиления—равенство фаз. Как видно из (20—21) первое условие выполнено, для выполнения же второго, необходимо выполнение соотношения.

$$x + z = y. \quad (22)$$

Итак, из полученных результатов (20) и (21) следует:

- 1) интерферометр с четырьмя блоками успешно может работать;
- 2) расстояние между блоками можно выбрать произвольно, только сохранением условия (22), что дает возможность, оставляя неизменным расстояние между зеркалами (второй и третий блоки) перемещать их между расщепителем и анализатором (между первым и четвертым блоками) (рис. 1,б).

3) с перемещением зеркал внутри интерферометра мы можем их разные участки облучать и, таким образом, исследовать различные участки зеркал.

Нетрудно убедиться в том, что двухзеркальный интерферометр может работать как однозеркальный интерферометр с раздвинутыми частями. Как известно, интерферометр может успешно работать в том случае, если зеркало состоит из двух симметрично раздвинутых частей (1) и рис. 2). Оказывается, что таких два интерферометра содержится в четырехблочном симметричном ($x=z$) интерферометре (интерферометры $ABCDEF A$ и $ABGKIFA$ рис. 2).

Так что, фактически, четырехблочный интерферометр является совокупностью трех интерферометров ($ABCDEFA$, $ABGKIFA$ и $ABGHEFA$) и поэтому, предложенный нами четырехблочный интерферометр мы называем полиинтерферометром.

Однако, центральный интерферометр ($ABGHEFA$) может работать только при условии (22); а краевые ($ABCDEFA$, $ABGKIFA$) интерферометры при условии

$$x = z. \quad (23)$$

Таким образом, указанные три интерферометра одновременно могут работать при одновременном выполнении условий (22) и (23), т. е. четырехблочный полиинтерферометр может работать при условии

$$x = z = \frac{y}{2}. \quad (24)$$

Что краевые интерферометры могут работать только при условии (23) можно убедиться таким же образом, как и при выводе выражений для амплитуд налагаемых волн центрального интерферометра.

Действительно, в рассматриваемом случае получим:

1) для интерферометра $ABCDEFA$

$$D_0^{II} = - \frac{X_1^3 X_2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2' z - g_2(z + 4t)]\},$$

$$D_h^{II} = - \frac{X_1^3 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2'(x + y) - g_2(4t + x + y)]\}. \quad (25)$$

$$D_0^{III} = - \frac{X_1^3 X_2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2' x - g_2(x + 4t)]\},$$

$$D_h^{III} = - \frac{X_1^3 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2'(y + z) - g_2(4t + y + z)]\};$$

2) для интерферометра $ABGHEFA$

$$D_0^{II'} = \frac{X_1^2 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2'(y + z) - g_2(4t + y + z)]\}, \quad (26)$$

$$D_h^{II'} = \frac{X_1^2 X_2^3}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2' x - g_2(4t + x)]\},$$

$$D_0^{III'} = \frac{X_1^2 X_2^2}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2'(x + y) - g_2(4t + x + y)]\},$$

$$D_h^{III'} = \frac{X_1^2 X_1^3}{(X_1 - X_2)^4} \exp \{-2\pi i k [g_2' z - g_2(4t + z)]\}.$$

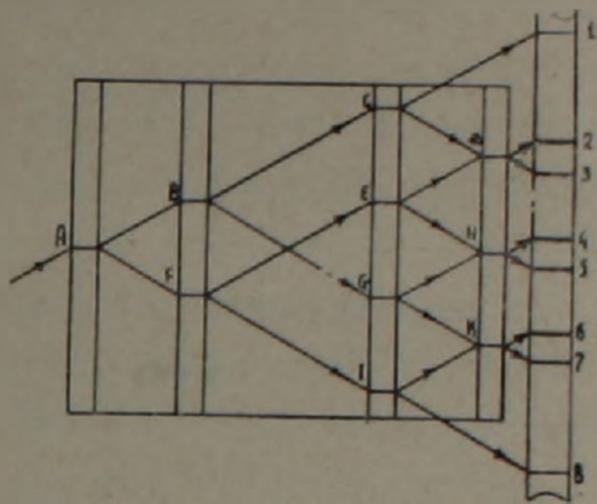


Рис 2. Четырехблочный интерферометр с симметрично раздвинутыми частями

Из (25) и (26) для отношения амплитуд налагаемых волн получаем: для первого интерферометра

$$D_0^{II}/D_0^{III} = D_h^I L_h^{III} = \exp[-2\pi ik |g_2'(z-x) - g_2(z-x)|];$$

для второго интерферометра

$$D_0^{II}/D_0^{III} = D_h^{II}/D_h^{III} = \exp[-2\pi ik |g_2'(z-x) - g_2(z-x)|]. \quad (27)$$

Из требования равенства фаз этих волн сразу же получаем условие (23).

На основании вышеприведенных расчетов был изготовлен четырех-блочный интерферометр с симметричным расположением блоков. Интерферометр был изготовлен из без-дислокационного монокристалла кремния, с отражающими плоскостями (110), перпендикулярных к большим поверхностям блоков и к поверхности основания (рис. 3). Толщины отдельных блоков 0,45 мм, расстояния между блоками таковы:

$$x=z=12\text{ мм}, \quad y=24\text{ мм}.$$

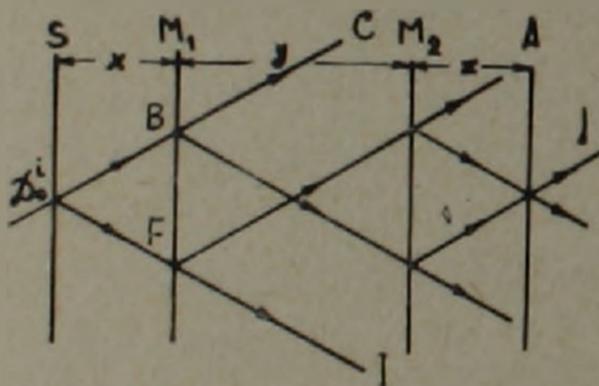


Рис. 3. Пучки BC и FI не попадают на второй зеркальный блок

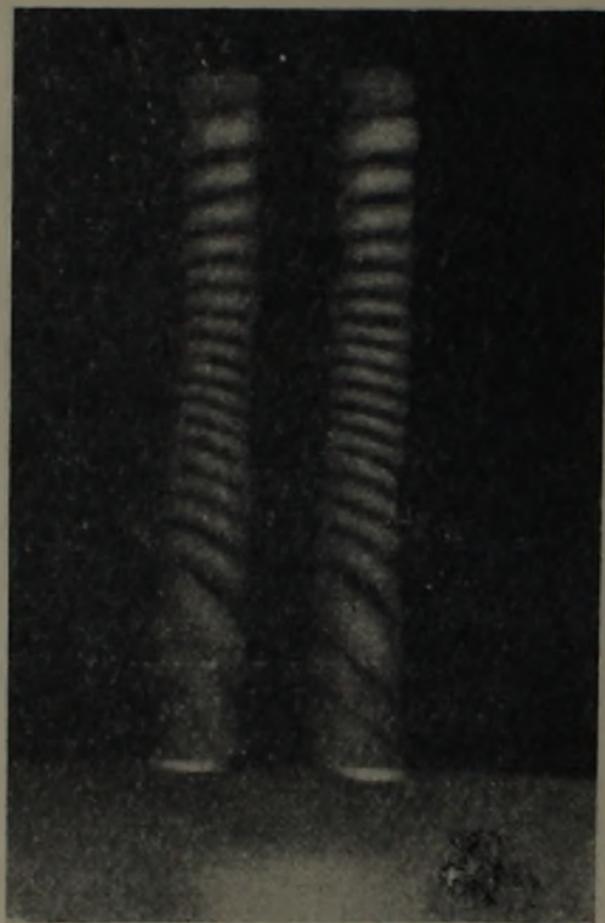


Рис. 4. Муаровые узоры, полученные от интерферометра

При таких размерах получили интерференционную картину только от центрального интерферометра $ABGHEFA$ (см. рис. 2). Интерференционные картины от краевых интерферометров не наблюдались из-за малой ширины второго зеркального блока, так как пучки BC и FI (см. рис. 3) выходят из интерферометра, не попадая на второй зеркальный блок.

Интерференционная картина, полученная от интерферометра показана на рис. 4. Как видно из рисунка, центральные два следа (следы 4 и 5, см. рис. 2) имеют муаровые узоры, которые получены от центрального интерферометра, наложением пучков EH и GH . Остальные следы (1, 2, 3, 6, 7, 8) муаровых узоров не имеют, так как из-за малой ширины блоков наложение волн в точках D и K не происходит (пучки BC и FI не пересекают третий блок).

Չորսբլոկանի ինտերֆերոմետր

Տեսականորեն հաշվված և գործնականորեն իրականացված է չորսբլոկանի սենսիվային ինտերֆերոմետր՝ էլեմենտների սիմետրիկ դասավորությամբ:

Այդպիսի ինտերֆերոմետրը հնարավորություն է տալիս միաժամանակ ուսումնասիրել առանձին բլոկ-բյուրեղների տարբեր մասերը: Բացի դրանից չորսբլոկանի ինտերֆերոմետրերը մեծ հնարավորություններ է ընձեռնում ուսումնասիրելու համար զանազան մեխանիկական և ջերմային լարումների ազդեցությունը բյուրեղների ստրուկտուրայի վրա, ինչպես նաև ճշգրիտ արդյունքներ ստանալ դեֆորմացիաների և դիսլոկացիաների բաշխման ու խրտուխի մասին: Ինտերֆերոմետրից ստացված ինտերֆերենցիոն պատկերներն ունեն բարձր լուծող ընդունակություն:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ U. Bonse and M. Hart, Appl. Phys. Letters, 6, 155 (1965). ² U. Bonse and M. Hart, Z. Physik, 190, 455 (1966) ³ U. Bonse and M. Hart Z. Physik 194, 1 (1966). ⁴ U. Bonze and M. Hart, Acta Cryst. A24, 240 (1968). ⁵ U. Bonse and E te Kaat, Z. Physik 214, 16 (1968).